



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
UNIVERSIDADE FEDERAL
DO SUL E SUDESTE DO PARÁ
CAMPUS UNIVERSITÁRIO DE MARABÁ
FACULDADE DE GEOLOGIA

ISAQUE CONCEIÇÃO RODRIGUES DA SILVA

GÊNESE E EVOLUÇÃO DE ESPELEOTEMAS EM CAVIDADE
NATURAL N4E-29 AO LONGO DE FORMAÇÕES FERRÍFERAS
BANDADAS, SERRA NORTE DE CARAJÁS-PA

MARABÁ-PA
2015

ISAQUE CONCEIÇÃO RODRIGUES DA SILVA

GÊNESE E EVOLUÇÃO DE ESPELEOTEMAS EM CAVIDADE
NATURAL N4E-29 AO LONGO DE FORMAÇÕES FERRÍFERAS
BANDADAS, SERRA NORTE DE CARAJÁS-PA

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
faculdade de Geologia da Universidade Federal
do Pará – UFPA / Universidade Federal do Sul e
Sudeste do Pará – UNIFESSPA em
cumprimento às exigências para obtenção do
Grau de Bacharel em Geologia.

Orientador: Prof. Dr. Antônio Emídio de Araújo
dos Santos Júnior

MARABÁ-PA
2015

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)
Biblioteca II da UNIFESSPA. CAMAR, Marabá, PA

Silva, Isaque Conceição Rodrigues da

Gênese e evolução de espeleotemas em cavidade natural N4E-29 ao longo de formações ferríferas bandadas, Serra Norte de Carajás-PA / Isaque Conceição Rodrigues da Silva; orientador, Antônio Emídio de Araújo Santos Júnior. — 2015.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará, Campus Universitário de Marabá, Instituto de Geociências e Engenharias, Faculdade de Geologia, Marabá, 2015.

1. Geoquímica - Carajás, Serra dos (PA). 2. Sedimentação e depósitos. 3. Espeleologia. 4. Rochas sedimentares. I. Santos Jr., Antônio Emídio de Araújo, orient. II. Título.

CDD: 22. ed.: 551.9098115

ISAQUE CONCEIÇÃO RODRIGUES DA SILVA

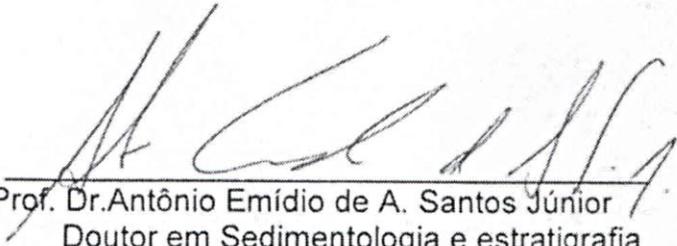
GÊNESE E EVOLUÇÃO DE ESPELEOTEMAS EM CAVIDADE
NATURAL N4E-29 AO LONGO DE FORMAÇÕES FERRÍFERAS
BANDADAS, SERRA NORTE DE CARAJÁS-PA

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
faculdade de Geologia da Universidade Federal
do Pará – UFPA / Universidade Federal do Sul e
Sudeste do Pará – UNIFESSPA em
cumprimento às exigências para obtenção do
Grau de Bacharel em Geologia.

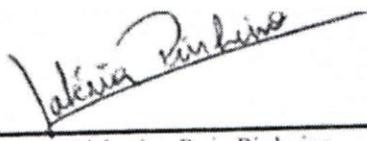
Data de aprovação: 25/02/2015

Conceito: EXCELENTE

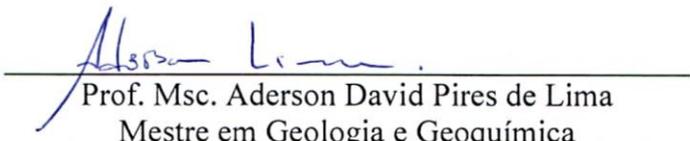
Banca examinadora:



Prof. Dr. Antônio Emídio de A. Santos Júnior
Doutor em Sedimentologia e estratigrafia
Universidade Federal do Pará



Prof. Dr. Ana Valéria dos Reis Pinheiro
Doutora em Hidrogeologia
Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará



Prof. Msc. Aderson David Pires de Lima
Mestre em Geologia e Geoquímica
Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará

DEDICATÓRIA

Ao mais perfeito arquiteto que já conhecera todas as informações que viriam a ser desvendadas neste trabalho.

AGRADECIMENTOS

Quero agradecer primeiramente ao meu Deus que merece toda honra, toda glória e toda adoração, sem ele, nada seria possível. Nos meus dias de angústia e solidão Ele sempre me ajudou e me guiou confortando meu coração. Obrigado Jesus.

Aos meus Pais que amo imensamente quero agradecer, por todo suporte, carinho, dedicação, influência e inspiração em todas as áreas da minha vida. Vocês são meus heróis e as minhas conquistas são resultados de todo seu esforço em minha vida.

Ao restante de família que sempre esteve muito feliz por estar na graduação, o que me ajudou muito.

À minha amiga e irmã que amo de coração Ana Karita. A minha Karitinha que sempre me auxiliou com seus conselhos. Sou imensamente grato por você sempre estar ao meu lado nos momentos mais difíceis do curso. Nossa amizade é algo que quero guardar eternamente.

Maiara, você sempre me fazendo rir. Brigamos muito, mas, em nossa amizade descobri uma grande amiga e melhor que isso, superamos dificuldades e até mesmo os nossos gênios. Temos histórias únicas para contar. Tenho um apreço muito grande por você Queen Maiara! Kkkkkkkk

À toda a GD's House, a casa que me fez crescer como profissional e como ser humano. Agda Dayani, no decorrer do curso nos aproximamos muito e o carinho que tenho por você é enorme. Aninha, nem sei como expressar meu agradecimento, pois, o fiz durante toda a graduação! Vinicius, você é um grande exemplo de pessoa e tenho grande admiração por ti, foi muito bom o tempo que passamos falando de música, tocando e cantando. Maíra sempre charmosa e *fashion*, obrigado por sua companhia e momentos de risos! kkkkk

Ao meu amigo Alan Albuquerque que tenho grande estima. Foram conversas e trocas de ideias que irei guardar eternamente assim como nossa amizade.

À minha amiga Katiane que tenho um zelo e carinho imenso que sempre me ajudou em momentos difíceis. O tempo que moramos juntos nos uniu e nos propiciou momentos de muito riso!

À minha amiga Wilma que sempre teve ótimas palavras ao conversarmos e que sempre elogiou minha comida. Kkkkkkkk

À minha amiga e companheira de Campo II Fabrícia, no qual, compartilhamos muita fome e quedas no meio do *lost*. Jamais esquecerei nossos risos e comentários sobre as linhas inimigas. Hahahah

Ao meu amigo Fernando que apesar de muita marra por fora sempre me ajudou muito e sempre esteve ao meu lado! Você tem um grande coração e te agradeço por todos os seus conselhos!

Ao meu amigo Caio que me deu muitas dicas sobre como ser proativo e conseguir boas notas. Kkkkkkk

Ao meu amigo Renato que nunca me negou carona e sempre me ajudou no que precisei. Rsrsrc

À minha amiga Daniella que amo muito desde o Campo I. Passamos muito sufoco, mas, no final deu tudo certo. Meu carinho por você é imenso minha amiga.

À minha amiga Raquel, que foi uma das primeiras pessoas que conheci em Marabá e nunca mediu esforços em me ajudar. Você é uma menina maluquinha, porém, maluquinha que amo demais. Obrigado por tudo!

À minha amiga Dorília que sempre acreditou em mim e que sempre me incentivou a sonhar mais alto.

À toda a minha turma, a Geologia 2010, que tenho muito carinho. As circunstâncias não permitiram uma maior aproximação com todos, porém, tenho grande carinho por vocês.

Ao meu orientador Emídio que me auxiliou muito em meu trabalho. Seu poder de síntese é incrível. Obrigado também por sempre resolver problemas inerentes a faculdade de Geologia, sempre tendo todo cuidado para com os alunos. Jamais esquecerei disso. Glória Deus na tua vida! Rsrsrc

À empresa VALE. S.A financiadora deste TCC pelo projeto PROCAV.

À todos os professores que fizeram parte da minha carreira acadêmica e que foram muito importantes na formação do meu conhecimento e em parte de minhas ideologias. Vocês são os profissionais, que formam este país. Parabéns por esta profissão de honra! Emídio, Valéria, Aderson, Gilmar, Ary e Thulla.

Ao meu amigo Rafinha que sempre me ajudou com seus conselhos e conversas.

E por fim mas não menos importante ao meu grande amigo Hargell, que sempre me ajudou em tudo e nunca mediu esforços quando precisei de você. Não tenho palavras para te agradecer.

RESUMO

Na Serra dos Carajás, área de estudo, cavidades desenvolveram-se ao longo da Unidade Espeleológica de Carajás (UEC) sobre os jaspilitos da Formação Carajás e Canga Laterítica. Processos de intemperismo através de reações físico-químicas pela percolação da água nas rochas relativamente solúveis propiciam a geração de espeleotemas em sistemas ferríferos. Neste contexto nota-se interação entre precipitação química e ação biológica. A precipitação química gera depósitos cristalinos no interior destas cavernas denominados genericamente como espeleotemas. A ação biológica ocorre pela presença de microrganismos (bactérias, líquens e musgos) foto dependentes que compõem os espeleotemas tipo Crostas. Na cavidade N4E-29 ocorrem espeleotemas Coraloides tipo agulha puros de Goethita e Crostas Branca e Amarela. Coraloide é um termo geral para designar variedades de espeleotemas de morfologia nodular, globular, botrioidal, ou similares a corais. A precipitação de Coraloides puros na cavidade estudada ocorre sob sistema afótico a partir um gel de hidróxido férrico que precipita-se em hábito acicular (Padrão 1 de Coraloides) ou hábito acicular/radial (Padrão 2 de Coraloides). A ação biológica de microrganismos foto dependentes que compõem os espeleotemas tipo Crostas Branca/Amarela, podem interferir na cristalinidade de Coraloides casos os mesmos sejam precipitados em sistema eufótico. Fatores como fonte rica em Ferro (III), condições alcalinas ($11 < \text{pH} < 13,5$) e temperatura entre 30 e 70°C são fundamentais para uma boa cristalinidade durante a precipitação da Goethita.

Palavras-chave: Coraloides. Crostas. Goethita.

ABSTRACT

Serra dos Carajás, study area, cavities developed along Unidade Espeleológica de Carajás (UEC) on jaspilites of Carajás formation and lateritic cover up. Weathering processes through physical-chemical reactions by water percolation in relatively soluble rocks provide speleothems generation in iron systems. In this context, it is observed interaction between chemical precipitation and biological action. Chemical precipitation generates crystalline deposits inside these caves called generically as speleothems. Biological action caused by presence of photo dependent microorganisms (bacteria, lichens and mosses) composing crusts speleothems type. In N4E-29 cavity occur Pure Acicular Coralloid speleothem of Goethite and White and Yellow Crusts. Coralloid is a catch-all term for varieties of nodular, globular, botrioidal, coral-like morphology speleothems. Precipitation of Pure Coralloids studied in the cavity occurs under aphotic system by a ferric hydroxide gel that precipitates in acicular habit (Coralloid Standard 1) or acicular / radial habit (Coralloid Standard 2). Biological action of photo dependent microorganisms that compose crusts speleothems in White / Yellow color may interfere with the Coralloids crystallinity if they were precipitated in euphotic system. Issues such as rich source of iron (III), alkaline conditions ($11 < \text{pH} < 13.5$) and temperature between 30 and 70 ° C are needed for a good crystallinity during precipitation of Goethite.

Keywords: Coralloids. Crusts. Goethite.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Mapa de localização e acesso demonstrando a Caverna N4E-29	15
Figura 2: Mapa das Províncias geocronológicas do Cráton Amazônico:	17
Figura 3: Mapa geológico simplificado da Província Mineral de Carajás.	18
Figura 4: Mapa Geológico da Serra dos Carajás	22
Figura 5: Cavidade N4E-29.....	27
Figura 6: Feições macroscópicas do Padrão 1 de Coraloides.....	29
Figura 7: Feições microscópicas do Padrão 1 de Coraloides..	30
Figura 8: Difrátogramas para o Padrão 1 de Coraloides.	30
Figura 9: Texturas observadas em MEV para o Padrão 1 de Coraloides	31
Figura 10: Feições macroscópicas do Padrão 2 de coraloides.	32
Figura 11: Feições microscópicas do Padrão 2 de Coraloides	33
Figura 12: Difrátograma para o Padrão 2 de Coraloides	33
Figura 13: Texturas observadas em MEV para o Padrão 2 de Coraloides	34
Figura 14: Feições Macroscópicas de Crostas Branca e Amarela.....	35
Figura 15: Feições observadas em MEV para as Crostas características de microrganismos.	35
Figura 16: Feições Microscópicas para as BIF's.	36
Figura 17: Difrátogramas referentes as amostras de BIF's.....	37
Figura 18: Texturas encontradas em MEV para as BIF's	37
Figura 19: Texturas observadas em MEV na porção da capa de alteração das BIF's.....	38
Figura 20: Sistemas Eufótico e Afótico e a relação com Crostas de microrganismos.....	42

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Quadro Litoestratigráfico de parte da Serra Norte	19
Tabela 2: Métodos utilizados nas respectivas amostras da caverna N4E-29.....	23
Tabela 3: Petrografia simplificada da Caverna N4E-29.....	28

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
2 OBJETIVOS	14
3 LOCALIZAÇÃO E ACESSO	15
4 GEOLOGIA REGIONAL	16
4.1 CRÁTON AMAZÔNICO.....	16
4.1.1 Bacia Carajás	18
4.1.1.1 Litoestratigrafia	19
4.1.1.1.1 Supergrupo Itacaiúnas	20
5 MATERIAIS E MÉTODOS	23
5.1 LEVANTAMENTO BIBLIOGRÁFICO	23
5.2 ANÁLISE LABORATORIAL	23
5.2.1 Análise Macroscópica	23
5.2.2 Análise Microscópica	24
5.2.3 Difractometria de Raios-X	24
5.2.4 Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV-EDS)	24
6 GEOLOGIA LOCAL	26
6.1 CARACTERIZAÇÃO DA CAVERNA N4E-29	26
7 PETROGRAFIA	28
7.1 ESPELEOTEMAS.....	28
7.1.1 Coraloides	28
7.1.1.1 Padrão 1	28
7.1.1.2 Padrão 2	31
7.1.2 Crostas Branca/ Amarela	34
8 DISCUSSÕES	39
9 CONCLUSÕES	43
10 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	44

1 INTRODUÇÃO

O Brasil possui potencial espeleológico amplo, abrangendo cerca de 100.000 cavernas de diversas litologias, no qual, cerca de 10.000 encontram-se cadastradas (CECAV, 2009). Devido à alta ocorrência de cavernas em terrenos cársticos, os estudos espeleólogos concentraram-se por muito tempo nestes litotipos. Entretanto, este quadro está sendo modificado devido a uma vasta ocorrência de cavidades naturais em minério de ferro (JANSEN, 2009).

As principais ocorrências de cavidades naturais em Formações Ferríferas Bandadas estão concentradas no Quadrilátero Ferrífero (Minas Gerais) e na Serra dos Carajás (Pará) (MACAMBIRA et al., 1990). Na Serra dos Carajás, área de estudo, as cavidades desenvolveram-se ao longo da Unidade Espeleológica de Carajás (UEC) sobre os jaspilitos da Formação Carajás e Canga Laterítica (MACAMBIRA et. al., 1990). Seu processo de formação ocorre através de reações físico-químicas pela percolação da água nas rochas relativamente solúveis, provocando sucessivos eventos de dissolução e precipitação de novos minerais.

No contexto de Carajás nota-se interação entre precipitação química e ação biológica (AULER et. al., 2011) (PILÓ & AULER, 2009). A precipitação química gera depósitos cristalinos no interior destas cavernas denominados genericamente como espeleotemas. Os espeleotemas encontrados na cavidade N4E-29 foram Coraloides tipo agulha puros e Crostas Branca e Amarela. Coralóide é um termo geral para designar variedades de espeleotemas de morfologia nodular, globular, botrioidal, tipo agulha ou similares a corais. (HILL & FORTI, 1997) (AULER et. al, 2011). A ação biológica ocorre pela presença de microrganismos (bactérias, líquens e musgos) foto dependentes que compõem os espeleotemas tipo Crostas. (PILÓ & AULER, 2005) (AULER et al., 2011).

Até o momento, não há registros literários detalhados abordando a gênese e evolução destes espeleotemas. Portanto, este trabalho visa contribuir para a melhor compreensão sobre desenvolvimento de espeleotemas tipo Coraloides puros e Crostas Branca e Amarela na cavidade N4E-29 Serra Norte de Carajás.

2 OBJETIVOS

O objetivo principal deste trabalho é entender os fatores que contribuíram na gênese, evolução e interação de espeleotemas tipo Coraloide, Crostas Branca e Amarela desenvolvidos na cavidade natural N4E-29, ao longo do corpo de minério das BIF's, Serra Norte em Carajás.

Os objetivos específicos são:

- ✓ Descrever macro - microscopicamente os espeleotemas.
- ✓ Analisar texturas a fim de observar os hábitos e grau de cristalinidade dos espeleotemas
- ✓ Caracterizar a composição mineralógica e suas implicações na gênese dos espeleotemas.
- ✓ Analisar a interação entre os espeleotemas tipo Coraloide e Crostas, e sua importância na evolução dos espeleotemas.

3 LOCALIZAÇÃO E ACESSO

A área de trabalho encontra-se no sudeste do estado do Pará, nos arredores do município de Parauapebas, estado do Pará. O acesso ocorre a partir da cidade de Marabá através da PA-275, até o município de Parauapebas, que dista 165Km. Em seguida, são percorridos cerca de 30 km através da Rodovia Raimundo Mascarenhas até a cavidade natural N4E-29, Distrito Industrial de Carajás, Serra Norte (Figura 1).

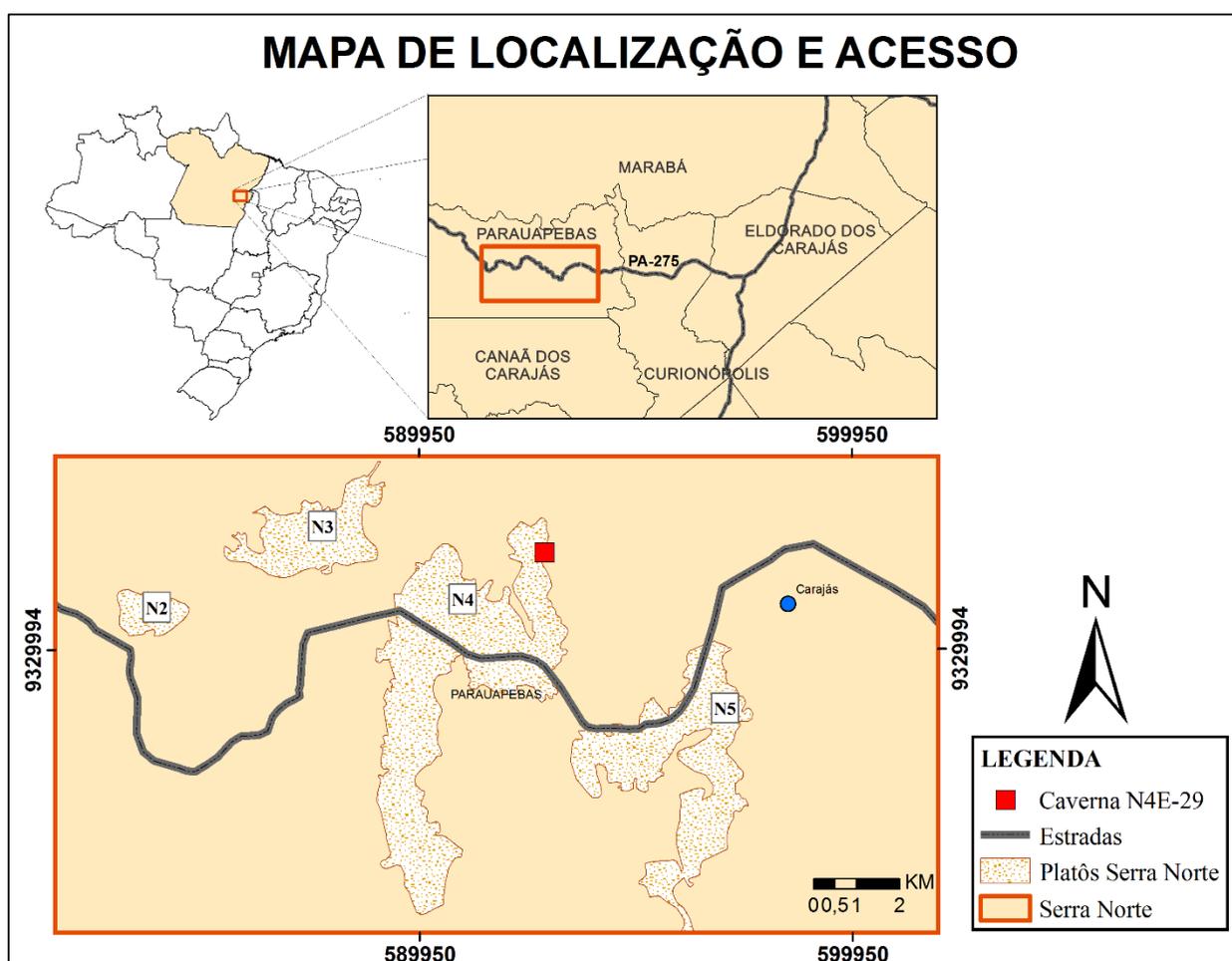


Figura 1: Mapa de localização e acesso demonstrando a Caverna N4E-29 como foco de estudo.

4 GEOLOGIA REGIONAL

A Caverna estudada está inserida dentro da Plataforma Sul-Americana, no Cráton Amazônico, mais precisamente na Bacia Carajás.

4.1 CRÁTON AMAZÔNICO

O Cráton Amazônico destaca-se dentre as unidades geotectônicas do Pré-cambriano da plataforma Sul-americana pela sua dimensão (cerca de 4.500.000 Km²). Trata-se de uma placa litosférica continental constituída de um expressivo núcleo arqueano bordejado por faixas orogênicas paleo a mesoproterozóica, tendo sido este conjunto estabilizado cerca de 1 Ga atrás e atuando como antepaís das faixas orogênicas brasileiras da Província Tocantins (ALMEIDA et al, 1976, 1981, 2000; CORDONI & BRITO NEVES, 1982; BRITO NEVES & CORDONI, 1991; CORDONI et al., 1999; SCHOBENHAUS & BRITO NEVES, 2003).

O Cráton Amazônico é constituído a norte pelo Escudo das Guianas, e a sul pelo Escudo Brasil Central. Estes escudos são separados pela faixa de rochas sedimentares das bacias do Amazonas e Solimões.

A evolução geológica do Cráton Amazônico foi abordada por duas correntes científicas principais. Uma delas está baseada em informações fornecidas pela geologia estrutural e geofísica, onde o Cráton Amazônico teria resultado da articulação de blocos crustais que foram aglutinados através de colisões no Arqueano/Proterozóico Inferior, compondo parte de um mega continente (HASUI et al. 1984; COSTA E HASUI, 1997). A outra corrente está baseada em informações provenientes da geocronologia e geologia isotópica, a qual considera que o Cráton Amazônico é dividido em províncias geocronológicas, formadas em torno de um núcleo arqueano alongado na direção NW/SE, denominado originalmente Província Amazônia Central, seguido de retrabalhamentos e acreção crustal ao longo de cinturões móveis (CORDANI & SATO, 1999; CORDONI et al. 1979; TEIXEIRA et al. 1989; TASSINARI & MACAMBIRA, 1999, 2004; SANTOS et al., 2000, 2003) (Figura 2a). De acordo com a segunda vertente o Cráton Amazônico seria dividido em sete províncias geocronológicas, assim denominadas: Carajás-Imataca (3,10–2,53 Ga), Transamazonas (2,25 - 2,00 Ga), Tapajós-Parima (2,10 – 1,87 Ga), Amazônia Central (1,88 – 1,77 Ga), Rondônia-Juruena (1,75 – 1,47 Ga), Rio Negro (1,86 – 1,52 Ga) e Sunsás (1,33

– 0,99 Ga) (SANTOS et al., 2000) (Figura 2b). De acordo com esta proposta, os núcleos arqueanos estão representados pelos blocos Carajás, a sul, e Imataca, a norte; as províncias Transamazonas, Tapajós-Parima e Rondônia-Juruena representam províncias juvenis, geradas por sucessivos eventos de acreção crustal no Paleoproterozóico, relacionados a sistemas de arcos magmáticos; a Província Amazônia Central representa o prolongamento da crosta arqueana da Província Carajás para oeste, retrabalhada por underplating magmático; e as províncias Rio Negro e Sunsás seriam produzidas por reciclagem de crosta continental durante eventos colisionais (SANTOS et al., 2000).

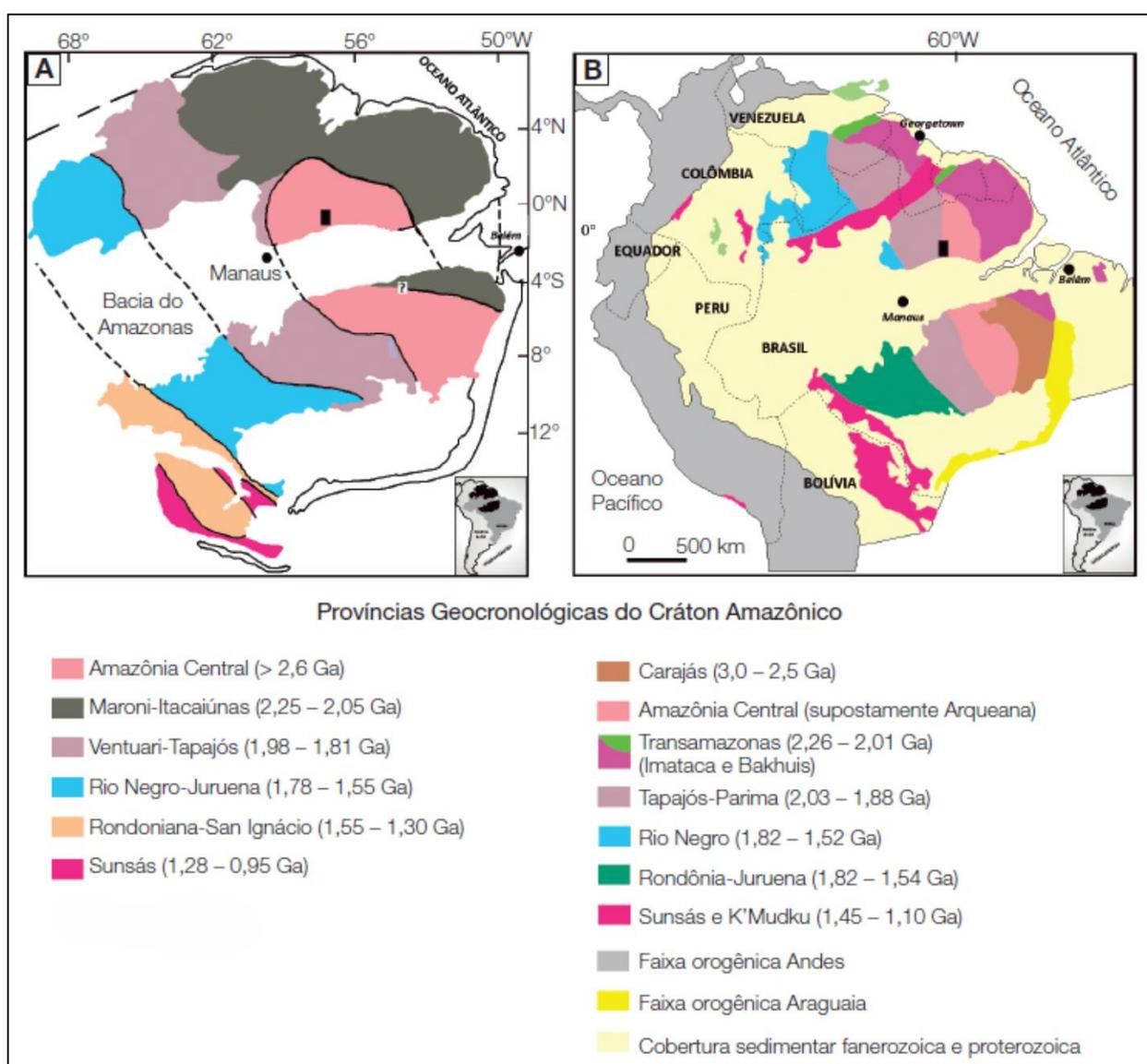


Figura 2: Mapa das Províncias geocronológicas do Cráton Amazônico: **A-** Tassinari & Macambira 2004 cuja as idades das províncias foram atualizadas por de acordo com Cordani et al. (2009); **B-** Santos et al., 2006.

4.1.1 Bacia Carajás

A Bacia Carajás está inserida na Província Carajás (Figura 3), localizada na porção Sul-Oriental do Cráton Amazônico. Esta bacia depositou-se através de movimentos extensionais, acompanhados por intenso magmatismo, cuja geometria foi controlada por estruturas pré-existentes. Costa & Hasui (1997) e Santos et al. (2000) denominaram a porção sudeste da Província da Amazônia Central, de Província Carajás que seria integralmente formada durante o arqueano.

A DOCEGEO (1988) considera que a bacia de Carajás, na qual domina o Supergrupo Itacaiúnas, formou-se sobre o terreno Granito-Greenstone de Rio Maria (TGGRM). Dall' Agnol et al. (1997, 2006) e Feio (2011) acreditam que a região entre Xinguara e a porção Sul da Bacia de Carajás corresponde a um domínio de transição, pois seria uma extensão do TGGRM, intensamente afetada por eventos magmáticos e tectônicos registrados na Bacia Carajás. No entanto, o limite entre o TGGRM e a bacia Carajás permanece ainda indefinido.

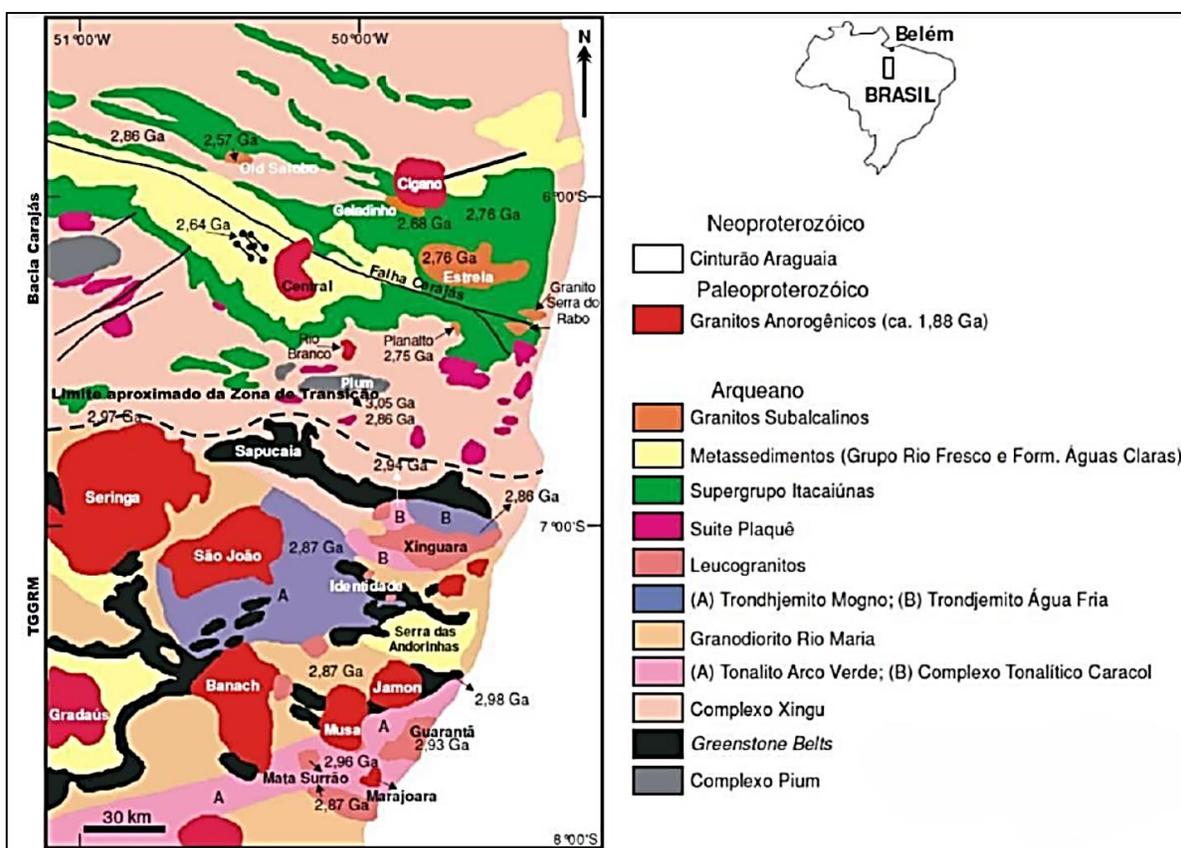


Figura 3: Mapa geológico simplificado da Província Mineral de Carajás. Modificado de Leite (2001).

4.1.1.1 Litoestratigrafia

A estratigrafia correlacionada à Bacia Carajás é baseada em Macambira (2003), no qual mostra a estratigrafia da Serra Norte (Tabela 1).

Tabela 1: Quadro Litoestratigráfico de parte da Serra Norte

ÉON	ERA	UNIDADE	DESCRIÇÃO
FANEROZÓICO	PALEOZÓICO	CORPOS MÁFICOS INTRUSIVOS	Diques e soleiras de diabásio
		GRANITO SERRA DOS CARAJÁS	Granitos a anfibólios e/ ou Biotita
PROTEROZÓICO	INFERIOR	GABRO SANTA INÊS	Gabro Grosseiro hidrotermalizado
		FORMAÇÃO IGARAPÉ AZUL	Arenitos com níveis conglomeráticos e siltitos intercalado
		ARQUEANO	GRUPO GRÃO PARÁ
Formação Igarapé Cigarra	Basaltos, tufos, BIF, chert Quartzo-wackes e quartzo arenito		
Formação Carajás	BIF's com soleiras de basalto		
Formação Parauapebas	Basaltos e riolitos		
GRUPO POJUÇA	Formação Gamaleira		Meta-wackes e meta-siltitos
	Formação Corpo 4		BIF's (sulfeto) e Xistos
	Formação Bueno		Anfibolitos e BIF's (óxido)
COMPLEXO XINGU		Gnâisse granodioríticos a tonalíticos, anfibolitos e trochjemitos	

Fonte: (MACAMBIRA, 2003)

4.1.1.1.1 Supergrupo Itacaiúnas

DOCEGEO (1988) propôs a designação Supergrupo Itacaiúnas para englobar o Grupo Grão Pará e unidades supracrustais similares, Grupos Igarapé Salobo, Igarapé Pojuca, Igarapé Bahia e Rio Novo, que ocorrem na Serra dos Carajás (Figura 4). A principal característica das unidades deste Supergrupo ocorre pela predominância de rochas vulcano-sedimentares, de idade arqueana, apresentando graus variáveis de metamorfismo e litologias distintas do Supergrupo Andorinhas (TGGRM).

Grupo Igarapé Salobo

Este grupo foi redefinido por DOCEGEO (1988) a partir da Sequência Salobo Pojuca. Ela engloba rochas vulcano-sedimentares ocorrentes na porção NW da mina de ferro Carajás. O grupo Pojuca é correlativo ao grupo Salobo, sendo ambos mais antigos que o Grupo Grão Pará (DOCEGEO, 1988, MACAMBIRA et. al, 1990, PINHEIRO & HOLDWORTH 2000).

Grupo Grão Pará

Constituído principalmente por uma espessa sequência de rochas vulcânicas, nas quais são geralmente distinguidos dos estratos, superior e inferior (Formação Parauapebas), com idade de 2759 Ma, determinada em vulcânicas félsicas e jaspilitos com minério de ferro associado (Formação Carajás). Essa unidade preenche a maior parte da Bacia de Carajás (CVRD, 1972).

A Formação Parauapebas corresponde às rochas vulcânicas máficas que ocorrem na base da Formação Carajás, representando derrames basálticos, além de rochas vulcânicas félsicas subordinadas e intrusões máficas. Ocorrem também associados aos derrames basálticos, níveis pouco espessos de rochas piroclásticas básicas a intermediárias, além de derrames e tufos félsicos. As idades U-Pb em zircão obtidas para esta formação são concordantes entre si, entre 2757 ± 7 Ma e 2760 ± 11 Ma (WIRTH et. al, 1986; MACHADO et. al, 1991; TRENDALL et. al, 1998), obtidas em metarriolitos que ocorrem intercalados aos metabasaltos.

A Formação Carajás ocupa a porção intermediária do Grupo Grão Pará. A mesma encontra-se mais bem estudada em serra Norte e é constituída por jaspilitos com bandamento

definido pela alternância de micro e mesobandas de óxidos de ferro (hematita, magnetita e maghemita), jaspe (chert impregnado por hematita fina) e/ou chert branco, com carbonatos subordinados, além do minério de ferro associado. Sua espessura é estimada em torno de 200 a 300 m, o contato com as unidades subjacentes é concordante. A idade de deposição da Formação Carajás é inferida a partir da datação de rochas metavulcânicas concordantes ao acamamento dos jaspilitos, com intervalos entre 2740 ± 8 e 2757 ± 18 Ma (TRENDALL et al. 1998, MACAMBIRA et al. 1996, KRYMSKY et al. 2002).

A Formação Igarapé Cigarra (MACAMBIRA et al, 1990), é constituída por camadas de BIF's recobertas por rochas vulcânicas máficas com intercalações de tufos, em seguida sedimentos clásticos e químicos. Está em contato concordante com a Formação Carajás com 1 a 3 km de espessura.

A Formação Igarapé Boa sorte, segundo Macambira et al. (1990), é a unidade superior do Grupo Grão Pará, a mesma é constituída por siltitos intercalados com folhelhos, ambos carbonosos e carbonáticos, com níveis arenosos em direção a base. Esses litotipos englobam o proto-minério da jazida de manganês do Azul.

A Formação Igarapé Azul (MACAMBIRA et al., 1990), repousa discordantemente sobre o Grupo Grão Pará, é constituída por arenitos fluviais em que os principais litotipos são quartzo-arenito, quartzo-wackes, conglomerados e raros siltitos.

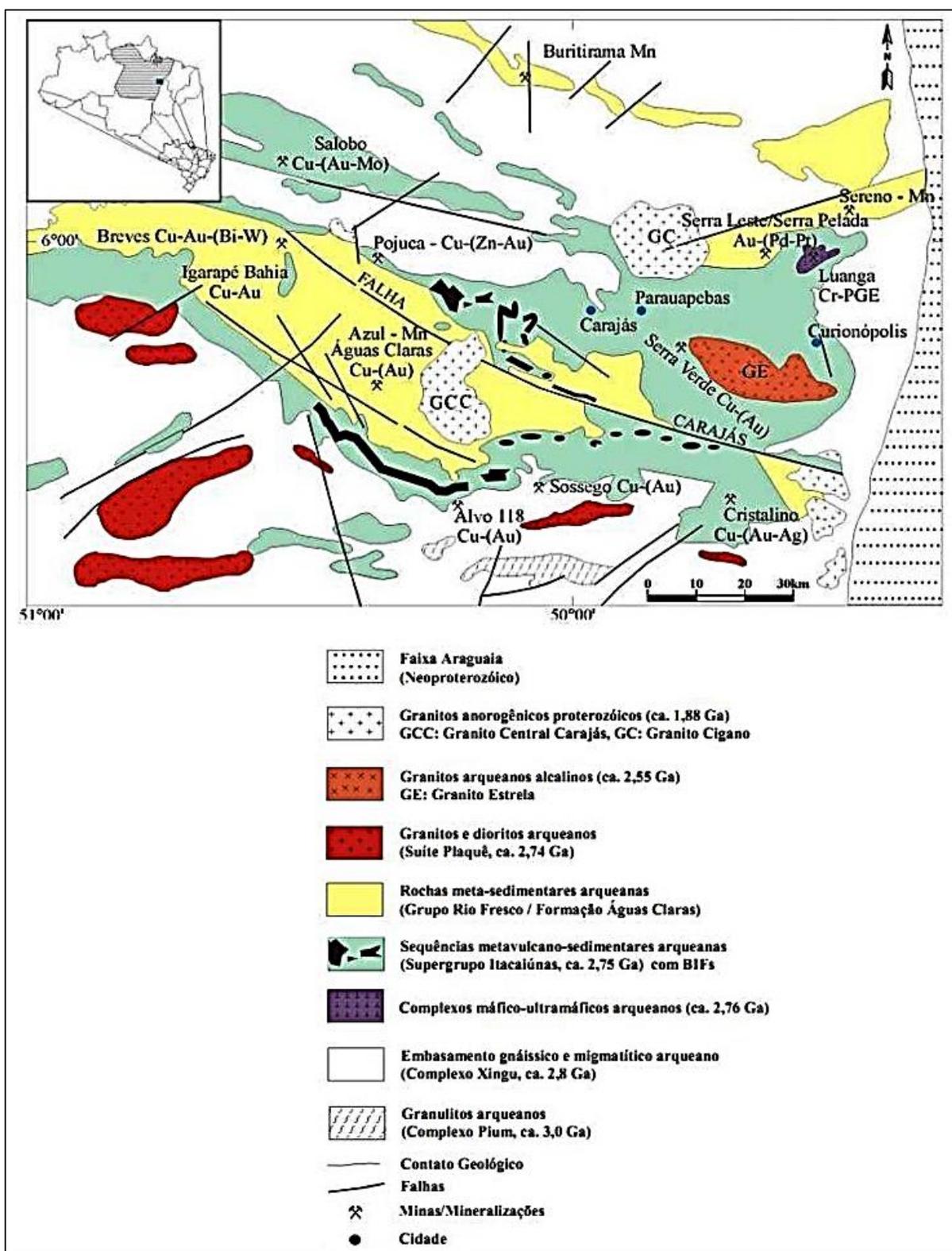


Figura 4: Mapa Geológico da Serra dos Carajás (MACAMBIRA, 2003).

5 MATERIAIS E MÉTODOS

Este trabalho foi realizado a partir da análise de sete amostras da caverna N4E-29, as quais foram coletadas pela empresa VALE S.A. As mesmas foram estudadas baseadas em levantamento bibliográfico e análise laboratorial.

5.1 LEVANTAMENTO BIBLIOGRÁFICO

A primeira fase deste trabalho consistiu em pesquisas bibliográficas: livros (HILL & FORTI, 1997), artigos científicos (PILÓ & AULER, 2009), relatórios internos (AULER et. al, 2001;2011), trabalhos de conclusão de curso (TCC's) (ABREU, 2014; GOMES, 2014), dissertação de mestrado (TORTELLI, 2009) e tese de doutorado (FEIO, 2011) abrangendo desde a Geologia Regional passando pela gênese de cavidades até a geração de espeleotemas em sistemas ferríferos.

5.2 ANÁLISE LABORATORIAL

As amostras da caverna N4E-29 foram encaminhadas para análise laboratorial em: Difratomia de Raios-X (DRX), Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) / Sistema de Energia Dispersiva (EDS), Microscopia ótica (Tabela 2).

Tabela 2: Métodos utilizados nas respectivas amostras da caverna N4E-29. Cavidade no contato BIF- Laterita (Canga).

AMOSTRA	N4E-29-AM-A1	N4E-29-AM-A2	N4E-29-AM-A3	N4E-29-AM-B	N4E-29-AM-C	N4E-29-AM-D	N4E-29-AM-E
Método Utilizado	Lâmina polida/ DRX /MEV-EDS						

5.2.1 Análise Macroscópica

A petrografia dos espeleotemas consistiu-se pela descrição das amostras de mão com o auxílio de lupa binocular, observando, hábitos, texturas e aspectos mineralógicos macroscópicos.

5.2.2 Análise Microscópica

As características microscópicas foram analisadas com o auxílio do microscópio petrográfico Carl Zeiss de luz transmitida e refletida, no Laboratório de Petrologia da Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará-UNIFESSPA. As seções polidas foram confeccionadas no Laboratório de Laminação da Universidade Federal do Pará-UFGPA campus Belém.

5.2.3 Difractometria de Raios-X

Para a caracterização das fases mineralógicas foi realizado o procedimento da difração de Raio-X no Laboratório de Difração de Raio-X da UFPA. O aparelho apresenta as seguintes características: X'PERT PRO MPD (PW 3040/60), PANalytical, Goniômetro PW3050/60 (q-q) e tubo de raios-x cerâmico de anodo de Cu ($K\alpha_1 = 1,5406 \text{ \AA}$), modelo PW3373/00, foco fino longo, 2200W, 60kv. O detector utilizado é do tipo RTMS, X'Celerator. A interpretação de dados foi feita com o software X'Pert Data Collector, versão 2.1a, e o tratamento dos dados com o software X'Pert HighScore versão 2.1b, também da PANalytical.

As amostras foram pulverizadas em gral de ágata em granulometria compatível e preenchidas em porta amostra específico para a análise. A identificação dos minerais é feita através da comparação do difratograma obtido com padrões (fichas) do banco de dados do ICDD-PDF (International Center for Diffraction Data – Powder Diffraction File). As fichas são específicas para cada mineral (por ex., quartzo, 46-1045), podendo haver diferentes fichas, principalmente, quando há minerais de composições químicas variáveis.

Foram utilizadas as seguintes condições de análise: Voltage (kV): 40; Current (mA): 30; Scan range ($^{\circ} 2\theta$): 3-75; Step size ($^{\circ} 2\theta$): 0,02; Scan mode: Continuous; Counting time (s): 20; Automatic Divergence slit; Mask Fixed 10 mm; Anti-scatter slit Fixed 2° .

5.2.4 Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV-EDS)

As análises das amostras da cavidade N4E-29 foram realizadas no Laboratório de Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) da UFPA, campus de Belém, com objetivo de

visualizar seus aspectos texturais e mineralógicos em escala micrométrica e também analisa-las de forma semi-quantitativa os principais elementos químicos através do Sistema de Energia Dispersiva (EDS).

As amostras submetidas ao MEV foram observadas em uma câmara a vácuo, modelo LEO-1430, corrente de feixe de elétrons = $90\mu\text{A}$, voltagem de aceleração constante = 200kV, distância de trabalho = 15mm e tempo de contagem para aquisição de elementos = 30s. Análises pontuais por EDS (microanálise pontual por dispersão de energia) foram realizadas nas 7 amostras, preferencialmente, em porções em que apresenta texturas diferenciadas.

6 GEOLOGIA LOCAL

A Caverna N4E-29 está inserida dentro do Platô N4E, Formação Carajás (Grupo Grão Pará), a qual é representada pelos Jaspilitos de Formações Ferríferas Bandadas (MACAMBIRA, 2003).

Os processos de formação do manto de intemperismo e produtos de alteração da Serra dos Carajás é muito importante para o bom entendimento da evolução dos espeleotemas. Um dos primeiros trabalhos com esta temática foi realizado por Tolbert et al. (1971), onde, entende-se que a cobertura laterítica que sustenta os platôs possuem centenas de metros de espessura, alocados sobre as Formações Ferríferas Bandadas, com porções que sofreram dessilicificações dos jaspilitos, (MAURITY, 1995). Os processos de ação mecânica das águas, tanto de migração e remoção de partículas sólidas, propiciaram aos minerais constituintes da Formação Carajás como a hematita, goethita, gibbissita, caulinita e quartzo sofrerem progressiva dissolução pelas soluções percolantes. Sob efeito do intemperismo, o ferro foi mobilizado e transportado por águas percolantes e em seguida redepositado no interior dessa cavidade, formando depósitos de gel de hidróxido férrico (HILL & FORTI, 1987) (MAURITY, 1995) (MAURITY & KOTSCHOUBEY 2005).

Dentro deste contexto, a Unidade Espeleológica de Carajás (UEC) corresponde ao manto de alteração representada por laterita ferro-aluminosa, canga hematítica brechada e conglomerados compostos por seixos e fragmentos angulosos desses dois tipos de rocha (MAURITY & KOTSCHOUBEY, 1995) (ROSA 2014) (GOMES, 2014).

6.1 CARACTERIZAÇÃO DA CAVERNA N4E-29

A Caverna N4E-29 (Figura 5). Compreende um pequeno salão, de piso inclinado para fora, com apêndice à esquerda com o teto constituído por Canga Laterítica e parede de Jaspilito, contendo pigmentos branco e amarelo em todas as partes além de espeleotemas tipo Coraloide. Apresenta 6m de projeção horizontal, área de 9m² e volume de 7,2m³. Ausência de água de percolação ou condensação e com incipiente gotejamento na linha d'água. (AULER et. al., 2011). As sete amostras coletadas: AM-A1, AM-A2, AM-A3, AM-B, -AM-C, AM-D e AM-E, localizadas ao longo da cavidade.

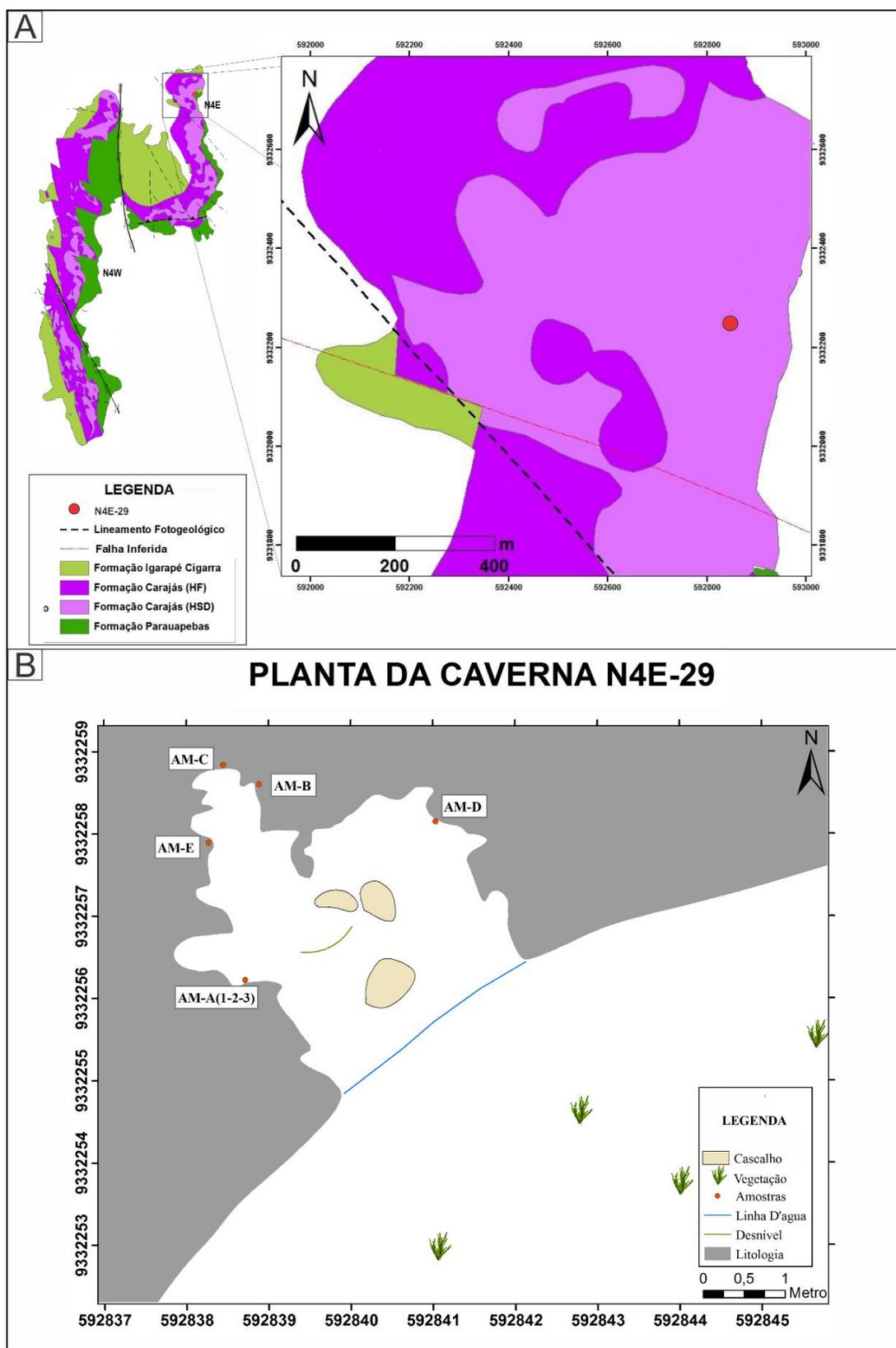


Figura 5: Caverna N4E-29. **A-** Mapa da porção leste do Platô N4 demonstrando a localização da caverna N4E-29 inserida na Formação Carajás. Modificado de Rezende & Barbosa (1972). **B-** Planta baixa da Caverna demonstrando também a localização de suas respectivas amostras.

7 PETROGRAFIA

Os espeleotemas tipo Coraloide, Crosta Branca e Crosta Amarela apresentam-se listados na (Tabela 3).

Tabela 3: Petrografia simplificada de espeleotemas da Caverna N4E-29 demonstrando substrato e suas respectivas denominações

ESPELEOTEMAS		SUBSTRATO	AMOSTRAS
<i>Coraloides</i>	Padrão 1	_____	AM-1/AM-3
	Padrão 2	_____	AM-2
<i>Crosta Branca</i>		BIF	AM-B/ AM-C/AM-D/AME
<i>Crosta Amarela</i>		BIF	AM-B

7.1 ESPELEOTEMAS

7.1.1 Coraloides

Os Coraloides estudados foram divididos em Padrão 1 e Padrão 2, ambos caracterizados por duas porções: base e espeleotema com contato abrupto e retilíneo entre eles.

7.1.1.1 Padrão 1

O Padrão 1 de Coraloides é caracterizado na base por um arenito acinzentado fino, maciço com boa seleção, bom arredondamento e brilho metálico. Sobre a base ocorre o espeleotema marrom acinzentado de brilho metálico, hábito acicular alongado com espessura de aproximadamente 3cm (Figura 6). Não foi observado a presença de crostas branca e amarela sobre os coraloides.

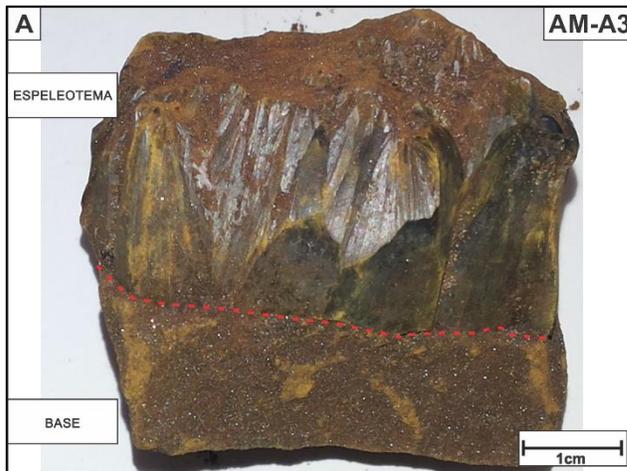


Figura 6: Feições macroscópicas do Padrão 1 de Coraloides: Arenito na base. Espeleotema no topo com estrutura acicular delimitados por contato abrupto e retilíneo (em destaque).

Microscopicamente o Padrão 1 de Coraloides é caracterizado na base por Arenito composto de grãos de quartzo de aproximadamente 2mm os quais são cimentados por Goethita compondo 25% da amostra. A porção Espeleotema é constituída exclusivamente de Goethita perfazendo 75% da amostra. Sob luz refletida natural, a Goethita apresenta coloração esbranquiçada, sem textura definida, por vezes com algumas ranhuras. Sob nicóis cruzados a mesma apresenta coloração marrom acinzentada ressaltando a textura acicular que grada para geometria em cones (Figura 7).

Os dados de DRX demonstraram que no padrão 1 de Coraloides ocorre a presença de Quartzo em menor proporção e Goethita dominante (Figura 8).

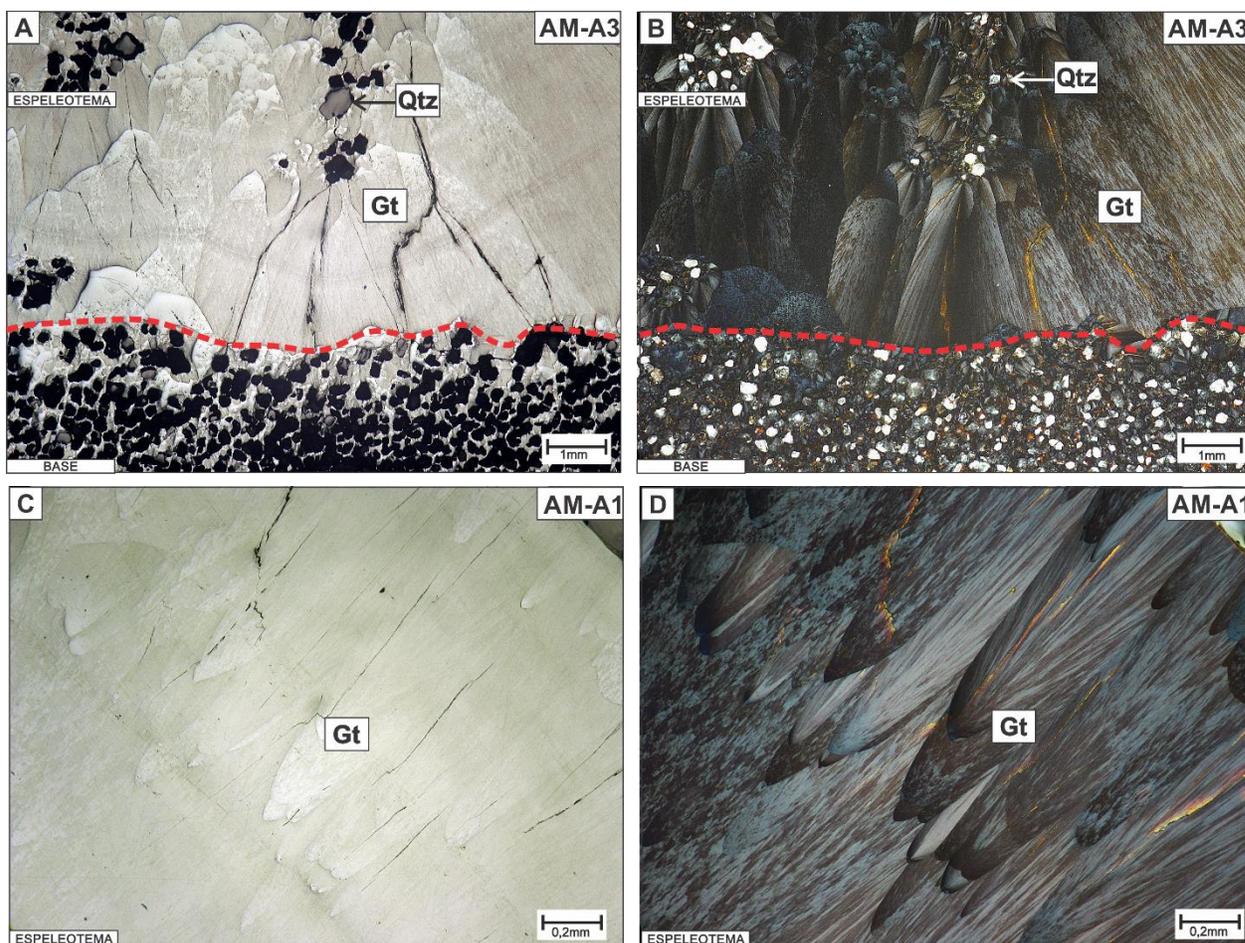


Figura 7: Feições microscópicas do Padrão 1 de Coraloides. **A-** luz refletida natural, contato entre o Arenito e o Espeleotema com contato brusco e retilíneo (em destaque). O cimento apresenta coloração esbranquiçada, sem textura definida apenas com pequenas vacâncias de aproximadamente 2mm, ora sem preenchimento, outrora com grãos de quartzo. **B-** Luz refletida nicóis cruzados o cimento mostra coloração marrom acinzentado, bem como, textura acicular que grada para a forma de cones. No topo destes cones ocorre a presença de micro cavidades que por vezes estão preenchidas por grãos de quartzo. **C-** Luz refletida natural da porção Espeleotema sem textura definida apenas com algumas ranhuras. **D-** Luz refletida nicóis cruzados demonstrando textura acicular para o espeleotema.

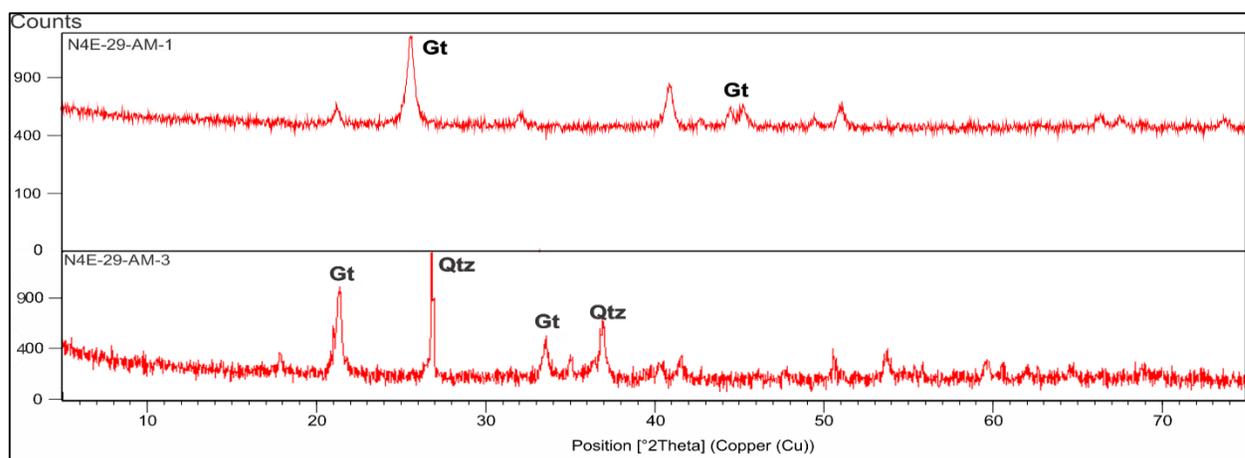


Figura 8: Difratoformas para o Padrão 1 de Coraloides demonstrando a abundância semi quantitativa de Goethita e em menor proporção o Quartzo.

Em análises de MEV na porção Arenito Maciço observa-se que a rocha é composta por cimento e grãos. O cimento de Goethita mostra-se como uma massa de textura acicular envolvendo os grãos de Quartzo. Os grãos mostram-se semi arredondados e semi esféricos. O contato entre os grãos não ocorre, sendo envolvidos pelo cimento acicular (Figura 9A). A porção espeleotema demonstra textura acicular de forma desordenada e também paralelas entre si (Figura 9B). Os resultados de EDS mostraram que os grãos são ricos em Silício e Oxigênio e o Cimento abundante em Ferro, Oxigênio e em algumas porções com traços de Manganês.

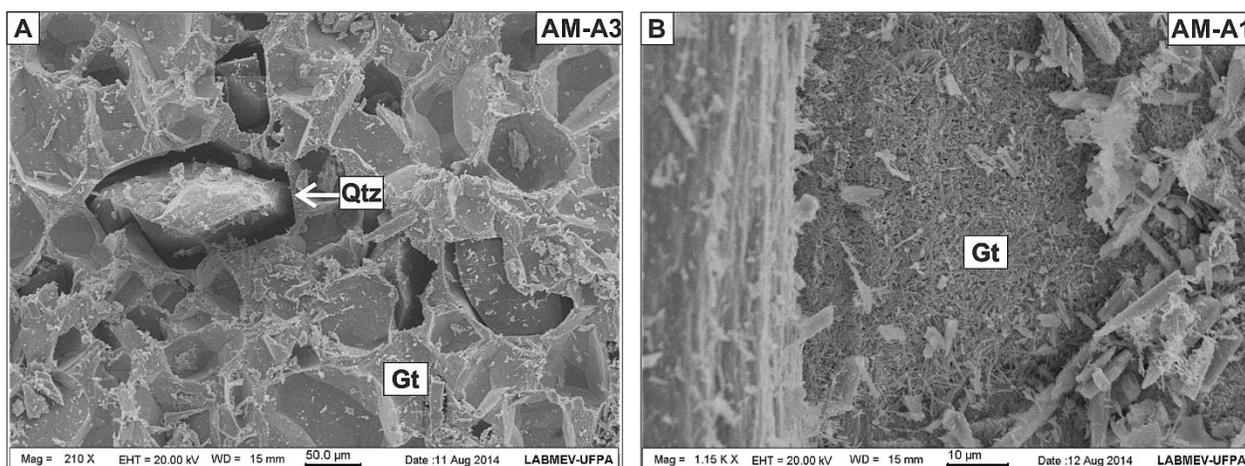


Figura 9: Texturas observadas em MEV para o Padrão 1 de Coraloides. A- Porção Arenito Maciço. Grãos de Quartzo semi arredondados e semi esféricos envolvidos por cimento acicular. B- Porção Espeleotema. Textura acicular demonstrando ordenamento de modo paralelo umas às outras e também mostrando desordenamento.

7.1.1.2 Padrão 2

O padrão 2 de Coraloides apresenta a mesma divisão: base e espeleotema, entretanto, este padrão, além de hábito acicular, é caracterizado por várias espículas intercrescidas de hábito radial levemente inclinadas, com dimensões de até 1,5cm de comprimento e 0,8cm de diâmetro. (Figura 10). Não foi observado a presença de crostas branca e amarela sobre os coraloides.

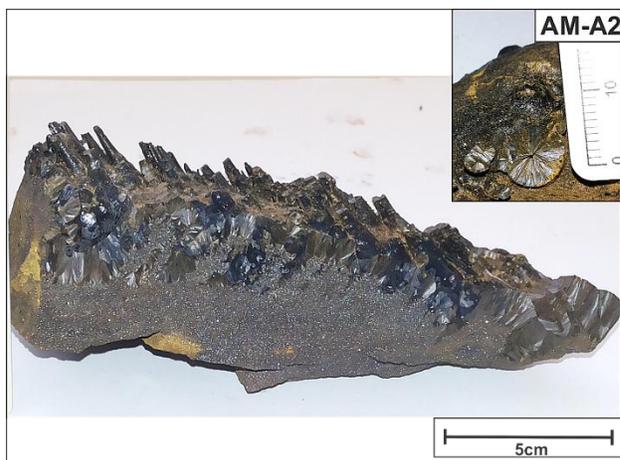


Figura 10: Feições macroscópicas do Padrão 2 de coraloides: Arenito na base e Espeleotema com hábito acicular na porção intermediária e espículas com hábito radial no topo ocorrendo de forma gradacional. Detalhe de espículas no canto superior direito.

Em análise microscópica o Padrão 2 de Coraloides, observa-se na porção Arenito maciço grãos de quartzo que abrangem 20% cimentados por Goethita que perfaz aproximadamente 80% da amostra. Sob luz refletida natural, o cimento apresenta coloração esbranquiçada, sem textura definida, cimentando grãos de aproximadamente 3mm (Figura 11A). Sob nicóis cruzados o cimento apresenta coloração marrom acinzentada de textura acicular (Figura 11B).

No espeleotema sob luz refletida natural observa-se massa esbranquiçada, por vezes com algumas ranhuras. Sob luz refletida e nicóis cruzados observa-se textura acicular com “agulhas”, paralelas entre si que gradam para geometria de cones, com pequenas ranhuras de coloração laranja (Figura 11C, D).

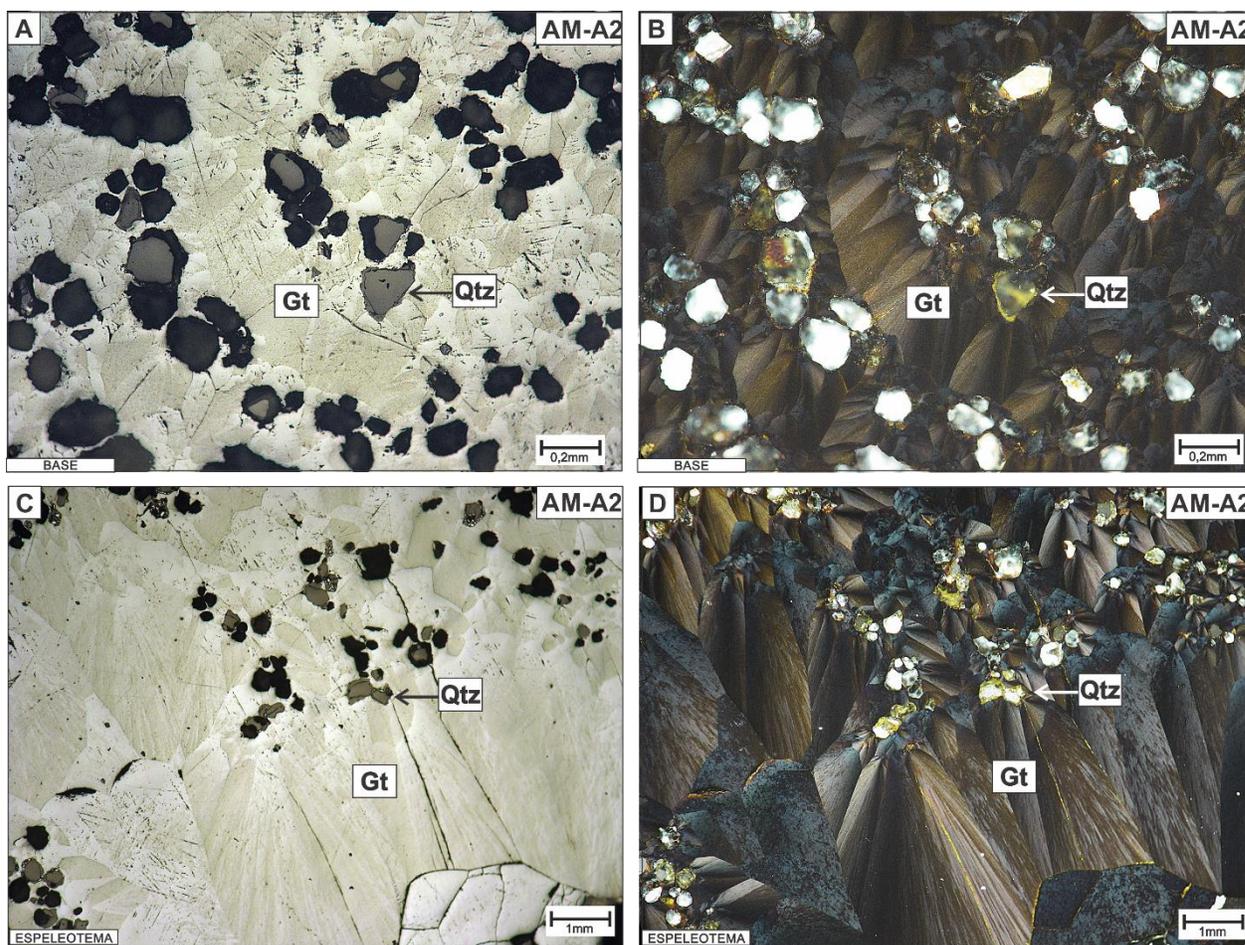


Figura 11: Feições microscópicas do Padrão 2 de Coraloides. **A-** luz refletida natural, porção Arenito. O cimento apresenta coloração esbranquiçada, sem textura definida apenas com pequenas vacâncias de aproximadamente 2mm, ora sem preenchimento, outrora com grãos de quartzo. **B-** Luz refletida nicóis cruzados, porção Arenito. O cimento mostra coloração marrom acinzentado, com textura acicular e micro cavidades muitas vezes preenchidas por grãos de quartzo. **C-** Luz refletida natural para a porção espeleotema. **D-** Luz refletida nicóis cruzados. Porção espeleotema demonstrando que na finalização da textura acicular aparece a geometria de cone bem como as micro cavidades em seus topos por vezes preenchidas por Quartzo.

Os dados de DRX demonstraram a presença de Goethita dominante para o Padrão 2 de Coraloides (Figura 12)

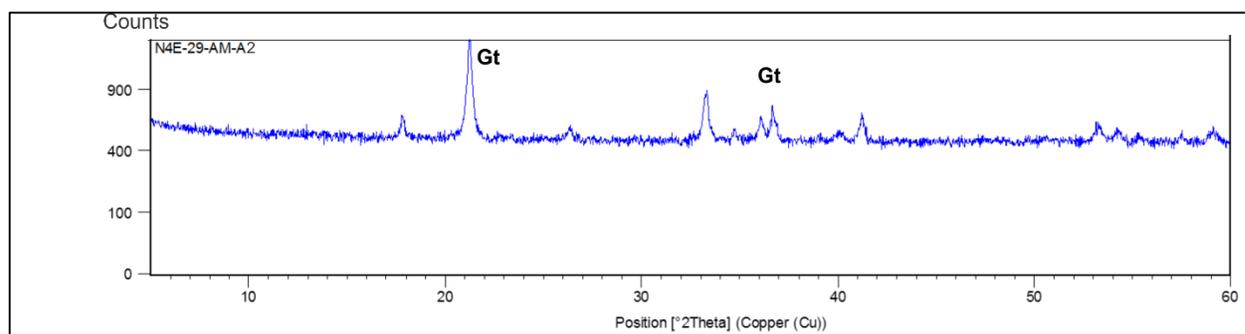


Figura 12: Difratoograma para o Padrão 2 de Coraloides demonstrando a abundância semi quantitativa de Goethita.

Em análise de MEV o padrão 2 observa-se na porção Arenito maciço que a rocha é composta por cimento e grãos. O cimento de Goethita mostra-se como uma massa de textura acicular envolvendo os grãos de Quartzo (Figura 13A). Os grãos mostram-se sub arredondados e esféricos. O contato entre os grãos é flutuante, envolvidos pelo cimento acicular. Na porção de hábito acicular observa-se textura de “agulhas” paralelas entre si. Na porção das espículas observa-se que pequenas formas aciculares demonstram um ordenamento concêntrico expressando hábito radial (Figura 13B). Localizadamente ocorrem esferas aglutinadas com textura radial. Os resultados de EDS mostraram que os grãos são ricos em Silício e Oxigênio e o Cimento abundante em Ferro, Oxigênio e em algumas porções com traços de Manganês.

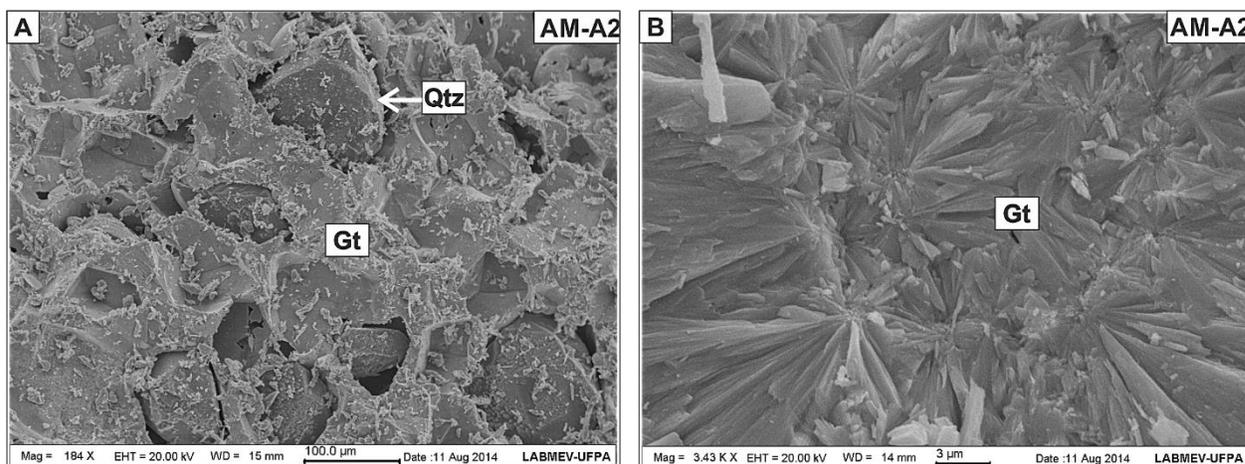


Figura 13: Texturas observadas em MEV para o Padrão 2 de Coraloides. **A-** Grãos de Quartzo semi arredondados e esféricos envoltos por cimento acicular. **B-**Hábito radial encontrado nas espículas.

7.1.2 Crostas Branca/ Amarela

Crostas Branca e Amarela mostram-se na maioria das amostras, sendo a Crosta Branca predominante em relação a amarela. Espeleotemas deste tipo ocorrem capeando a superfície das BIF's e em micro cavidades das amostras (Figura 14).

Para análise de texturas microscópicas utilizou-se o MEV que indicou texturas características de matéria orgânica (Figura 15), tais como fungos, bactérias e líquens. As análises de EDS demonstram presença de Carbono, Ferro, Silício e Cloro.



Figura 14: Feições Macroscópicas de Crostas Branca e Amarela recobrendo Formações Ferríferas Bandadas. **A-** BIF recoberta por Crosta Branca e em pequenas porções Crosta Amarela. **B-**BIF recoberta por Crosta Branca e Amarela na mesma proporção **C-** No interior de micro cavidades observa-se a presença de Crosta Amarela em maior proporção e também Crosta Branca **D-** Detalhe de micro cavidade com presença das Crostas.

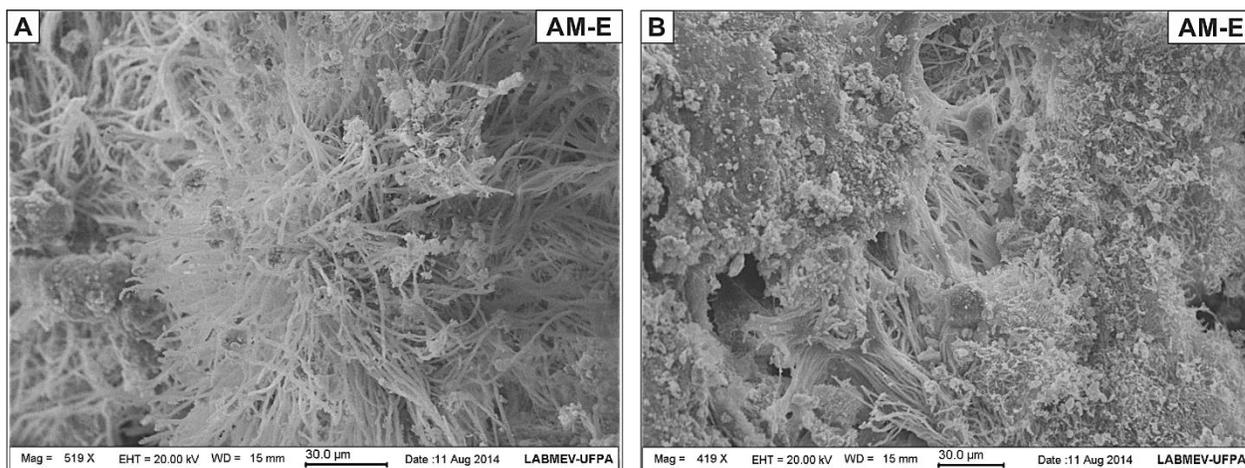


Figura 15: Feições observadas em MEV para as Crostas características de microrganismos.

As BIF's representam o substrato das Crostas Branca e Amarela. Essas amostras apresentam, bandamento horizontal paralelo, levemente dobrado, em algumas porções estes bandamentos são descontínuos interrompidos por micro cavidades de dissolução (1cm à 4cm). Por vezes demonstram aspecto brechoide. A banda opaca varia de aproximadamente 0,2 cm à 4cm e a banda silicosa pode chegar até 0,5 cm. A primeira é composta por minerais opacos, jaspe e chert, com lâminas muito finas de jaspe dentro dessa banda. A banda silicosa é composta por chert, jaspe e minerais opacos.

Microscopicamente as BIF's apresentam aproximadamente 70% de minerais opacos 20% de Jaspe e 10% de chert. São caracterizadas por laminações plano paralelas marcadas pela intercalação de bandas opacas e transparentes a translúcidas. A Hematita é o mineral opaco predominante em bandamentos regulares e dobrados. A presença de micro cavidades chegam até 5mm. Fragmentos de minerais opacos conferem um aspecto brechoide a rocha. A Goethita aparece imersa em massa de Óxido Hidróxido de Ferro (Figura 16).

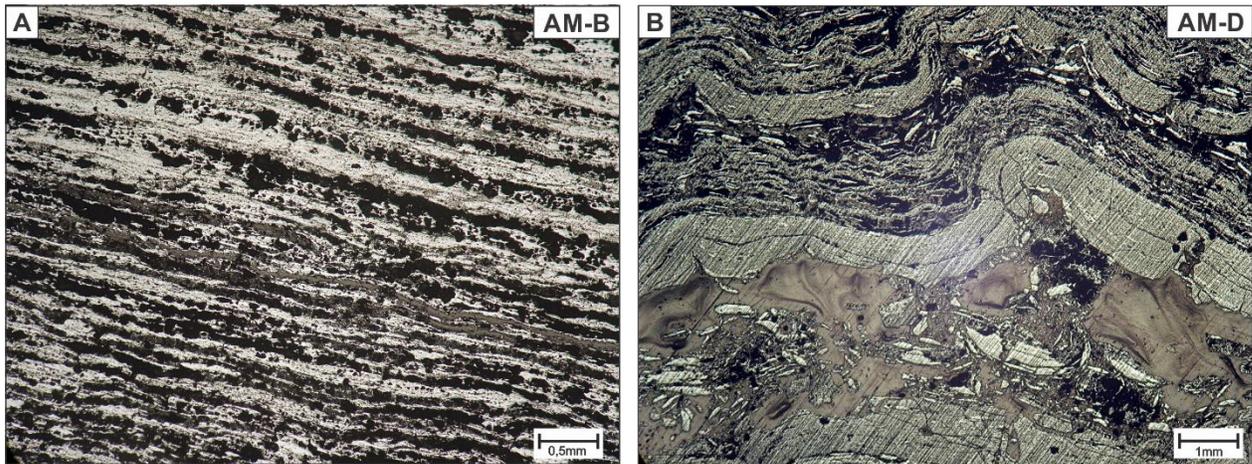


Figura 16: Feições Microscópicas para as BIF's. **A**-- Luz refletida natural. Bandamento horizontal plano paralelo contínuo.com intercalação de banda opaca (clara) e silicosa (escura). **B**-Luz refletida natural. Bandamento dobrado marcado pela intercalação de bandas opacas e transparentes a translúcidas bem como, micro cavidades interconectadas com ampla presença de feições brechoides.

Os resultados de DRX demonstram que há presença de Hematita e Goethita (Figura 17). Os resultados de MEV para as BIF's mostraram texturas preservadas referentes a Hematita e também uma capa de alteração com textura esponjosa. Hábitos da Hematita são observados tais como hábito romboédrico (Figura 18A) e também em algumas porções hábito tabular foliado (Figura 18B). A capa de alteração que apresenta textura esponjosa (Figura 19).

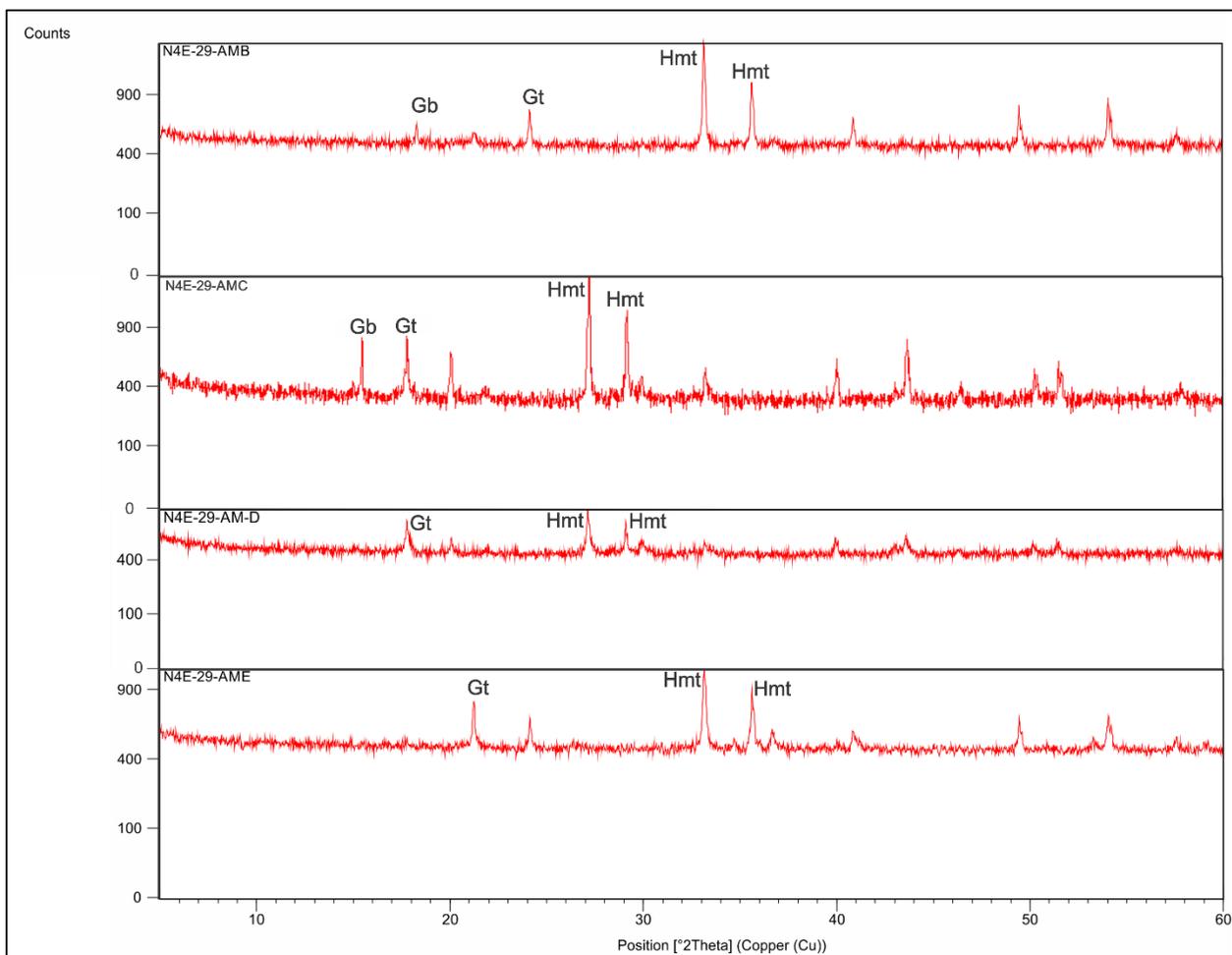


Figura 17: Difratomogramas referentes as amostras de BIF's demonstrando presença abundante de Hematita, em menor proporção Goethita e traços de Gibbsita.

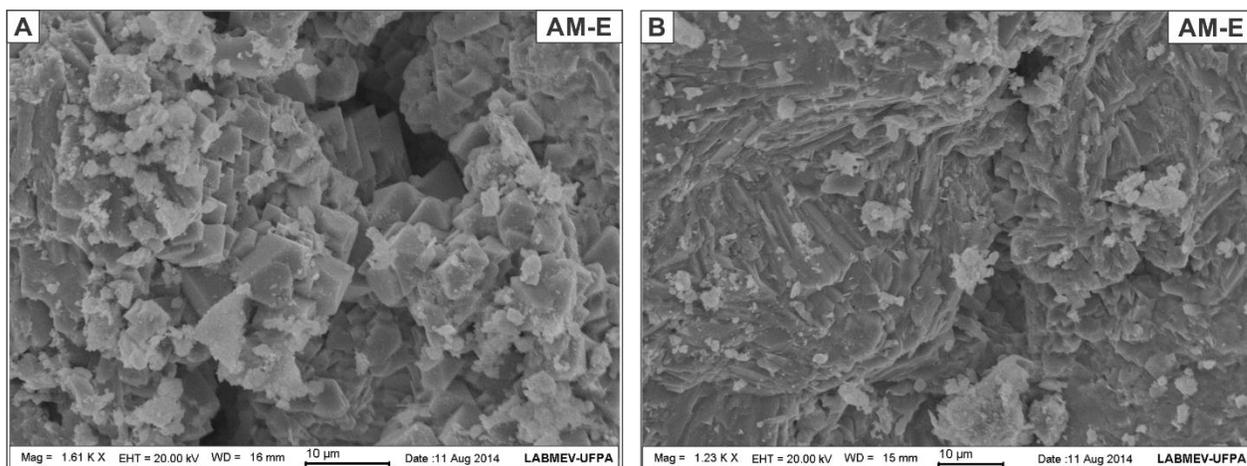


Figura 18: Texturas encontradas em MEV para as BIF's na porção interna da amostra, no qual, observa-se alguns hábitos preservados da Hematita. **A-** Hábito romboédrico bem desenvolvido. **B-** Hábito tabular foliado.

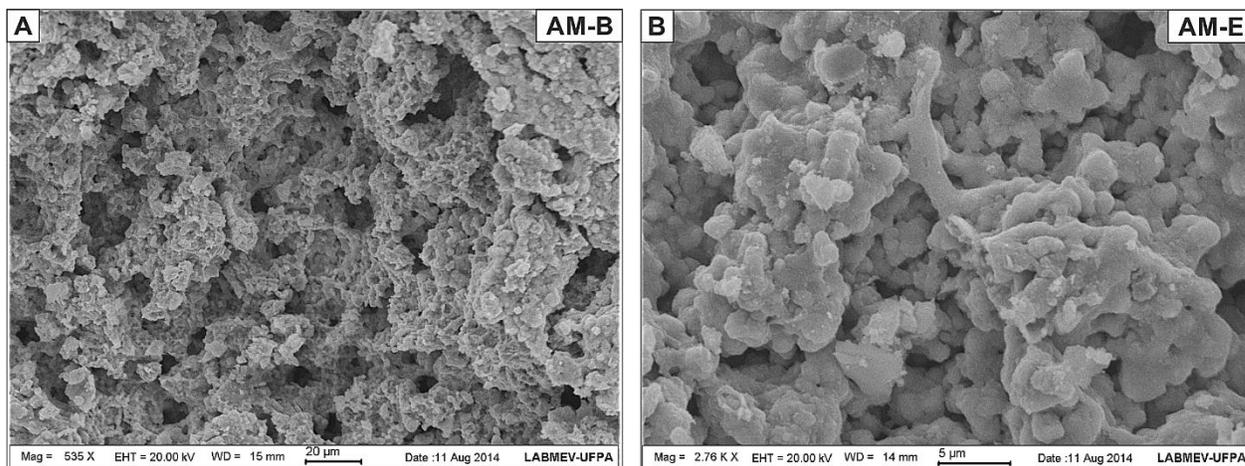


Figura 19: Texturas observadas em MEV na porção da capa de alteração das BIF's. **A, B-** Textura esponjosa marcada por diversas vacâncias.

Os resultados de EDS indicam presença de Ferro e Oxigênio para porção da Hematita e Carbono, Alumínio e Oxigênio na porção da capa de alteração.

8 DISCUSSÕES

De modo geral os espeleotemas estão relacionados à precipitação química que revestem paredes e tetos de uma cavidade natural. Através do efeito do intemperismo, o ferro é mobilizado e transportado por águas percolantes e em seguida redepositado no interior da caverna, formando depósitos de gel férrico também denominados de espeleotemas (MAURITY, 2005).

Dentro do contexto de cavernas em minério de ferro na Serra dos Carajás, observaram-se espeleotemas em praticamente todas as cavernas mapeadas. Estes espeleotemas compreendem em geral feições de pequeno porte e com mineralogia representada por óxidos/hidróxidos de ferro, sulfatos, fosfatos e silicatos, onde sua variedade tipológica é comumente representada por: Coraloide, Crosta de óxido-hidróxido, Crosta branca, Crosta cinza-esverdeada, Escorrimento, Microtravertino, Pingente Estalactite, Estalagmite, Coluna, Cortina, "Bateia" e Depósito Gelatinoso (AULER et. al., 2011). Dentre os citados foram observados na Caverna do presente trabalho os espeleotemas: Coraloide, Crosta Branca e Crosta Amarela.

Coraloide é um termo geral para designar variedades de espeleotemas de morfologia nodular, globular, botrioidal, tipo agulha ou similares a corais. (HILL & FORTI, 1997). (AULER et. al, 2011).

Até o momento estudos bibliográficos sempre demonstraram que os Coraloides de Carajás estão sempre associados ação de Crostas de microrganismos especialmente a branca e a amarela (Auler et al, 2011). Todavia, os coraloides da caverna N4E-29 demonstram morfologia similar a coraloides do tipo agulha, porém, sem a presença de material microbiológico. Além disso, feições puras de Goethita de hábito acicular e radial são característicos.

Para o melhor entendimento da geração dos Coraloides de Goethita gerados ao longo da cavidade estudada N4E-29, é necessário entender o processo de precipitação deste mineral. Perry (1927) foi um dos primeiros a utilizar o termo gel de hidróxido férrico relacionado a precipitação da Goethita. Entende-se que gênese destes coraloides pode estar relacionada a exsudação de um gel composto de água supersaturada em Hidróxido de Ferro que permeou através de uma camada de areia quartzosa envolvendo os grãos, gerando o Arenito Maciço cimentado por Goethita. O gel por não possuir espaço para desenvolver-se totalmente, conferiu ao cimento do Arenito a textura acicular. A ausência de qualquer tipo de contato de grãos corrobora a ideia de que os mesmos foram envolvidos por um gel fluído. Ao sair da zona dos grãos de quartzo o gel adota o hábito

acicular da Goethita. Se o processo finalizar neste ponto o Coraloide expressa o Padrão 1. Se o processo de precipitação continuar, sobreposto ao hábito acicular ocorre também o hábito radial da Goethita na forma de várias espículas, caracterizando o Padrão 2 de Coraloídes. A gravidade também possui influência na evolução do espeleotema podendo gerar espículas retas ou inclinadas. Este contraste ocorre devido a posição da precipitação no interior da cavidade. Logo, uma precipitação advinda do teto tende a formar espículas retas, já uma precipitação advinda da parede da cavidade tende a gerar espículas inclinadas. A análise microscópica mostra a presença de grãos de quartzo na finalização das estruturas denominadas como acicular com geometria de “cone,” indicando que o gel ao sair da zona do arenito mobilizou alguns grãos para as porções mais distais do espeleotema.

Experimentos de laboratório demonstraram água supersaturada em minerais é fundamental para o crescimento dos espeleotemas e que o gel de hidróxido férrico necessita de algumas condições para a precipitação da Goethita sob boas taxas de nucleação e crescimento tais como: estar sob condições alcalinas ($11 < \text{pH} < 13,5$), temperatura entre 30 e 70°C e possuir fonte de Ferro(III). É necessário frisar que quanto maior a temperatura, maior o tamanho dos cristais e que o comprimento e a largura das partículas dependem da quantidade de Ferro (III) da fonte (MONTEZ-HERNANDEZ et. al., 2011). (TORTELLI 2009).

Auler et. al., 2011 e Auler & Piló 2009 propõem que dentro do contexto de formação de coraloídes em Carajás existe uma interação entre deposição química e material biológico (bactérias, líquens e musgos), no qual, fatores como incidência de luz, circulação de ar e umidade influenciam na formação e desenvolvimento destes espeleotemas. O aparecimento destes microrganismos deve-se ao aporte energético gerado pelas reações de oxidação / redução inerentes ao ambiente ferruginoso que propiciam aos microrganismos seu desenvolvimento. Em locais com incidência de luz solar e circulação de ar, ocorre a presença de coraloídes em interação com material biológico já que estes microrganismos são foto-dependentes. Em locais onde não há incidência de luz e circulação de ar, a umidade é maior, ausentando o material biológico, ocorrendo apenas precipitação química de material ferruginoso (Hematita, Goethita, etc.) (AULER et. al, 2011).

Os espeleotemas tipo crostas Branca e Amarela da cavidade N4E-29 surgiram devido a presença de incidência de luz sobre a litologia interna da caverna. As porções afetadas pela luz ofereceram subsídio para o surgimento das crostas que se colocaram sobre as Formações

Ferríferas Bandadas. Os coraloídes da cavidade, não apresentam crosta de microrganismos provavelmente devido a pequeno apêndice do lado esquerdo similar a um pequeno salão protegido de incidência de luz.

Entende-se que a evolução dos coraloídes pode ocorrer sob duas condições: Cavidades que possuem condições eufóticas, ou seja, com entrada de luz e circulação de ar ocorre interação do precipitado químico ferruginoso e ação de microrganismos dependentes de tais condições no interior da caverna. A ação inorgânica que interage com a orgânica não permite que o precipitado químico se desenvolva de forma pura, pois os microrganismos em especial os líquens liberam substâncias corrosivas no ambiente (geralmente ácidos orgânicos) como produto de seu metabolismo interferindo na cristalização deste precipitado. Os coraloídes neste tipo de sistema exibem formas de pequenas bolas ou pontiagudos, porém, sem estrutura interna bem definida, apenas uma massa ferruginosa recoberta por Crostas tais como a Branca e a Amarela.

Cavidades que possuem condições afóticas, ou seja, ausência tanto de luz quanto de circulação de ar, ocorre a predominância de precipitação química de material ferruginoso. Neste caso a presença de organismos microbiológicos não influenciam na evolução dos coraloídes.

Logo, os coraloídes da cavidade em questão formaram-se dentro de um sistema afótico devido a presença de apêndice na cavidade protegeu o Coraloíde da incidência de luz. Por possuir uma fonte rica em Ferro (III) e condições alcalinas, o gel obteve condições de precipitar um Coraloíde puro de composição Goethítica.

Os sistemas eufótico e afótico, bem como, a interação Crosta Branca / Amarela e Coraloíde podem ser melhor observados na Figura 20.

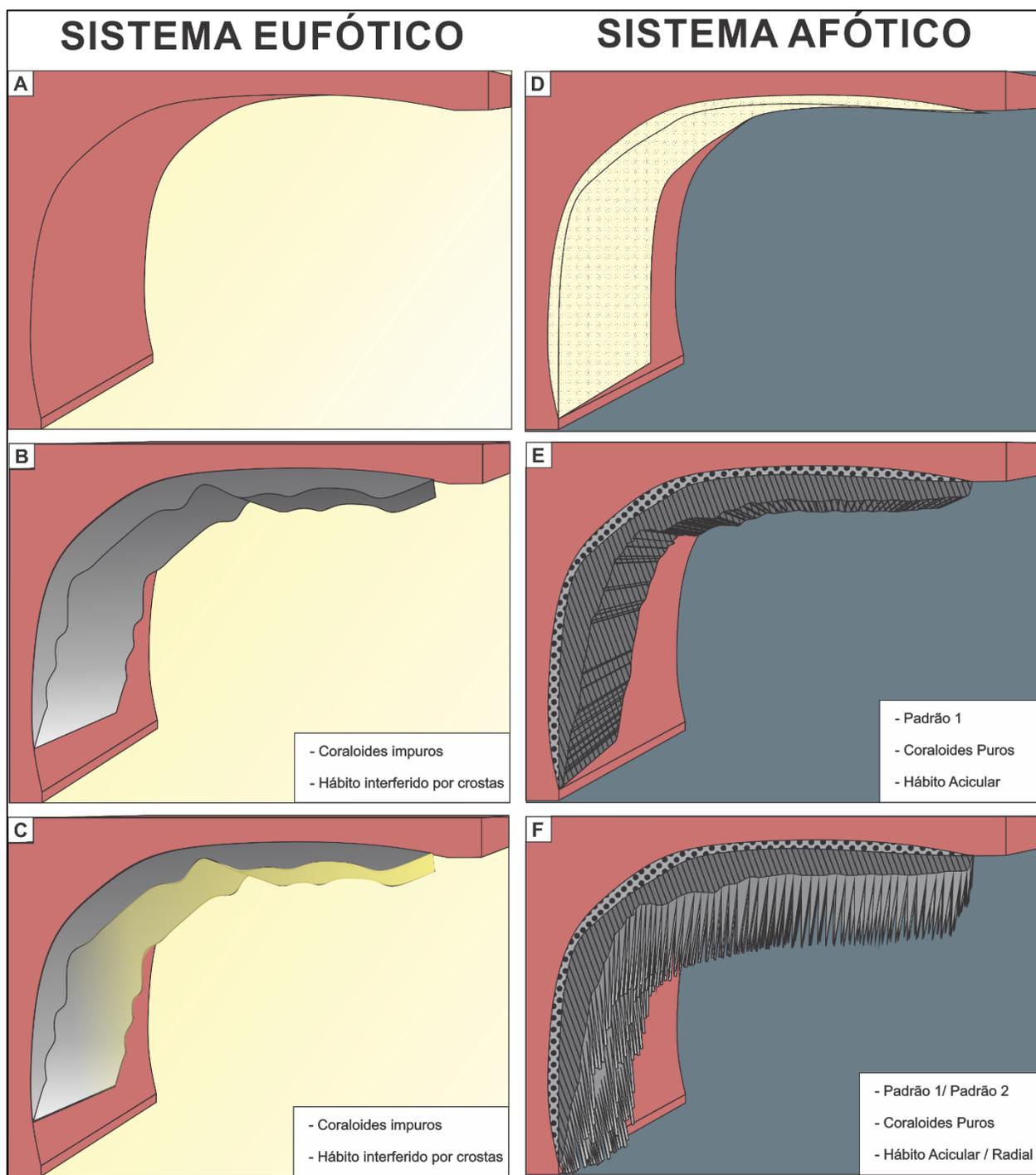


Figura 20: Sistemas Eufótico e Afótico e a relação com Crostas de microrganismos. **SISTEMA EUFÓTICO:** **A-** Cavidade sob influência de luz. **B-** Início da precipitação do gelo e início da interação com Crostas. **C-** Estágio final da precipitação e contínuo desenvolvimento e interação de Crostas Branca/Amarela sobre o espeleotema. **SISTEMA AFÓTICO:** **D-** Cavidade sem influência de luz e que possui camada de Arenito. **E-** Início da precipitação do gelo sem interferência de microrganismos, com desenvolvimento do Padrão 1 de Coraloides puros com hábito acicular. **F-** Estágio final de Coraloides puros que além do Padrão 1 de hábito acicular, aparece também o padrão 2 com espículas de hábito radial.

9 CONCLUSÕES

- A gênese dos Coraloídes está relacionada ao processo de supersaturação da água em Hidróxido de Ferro gerando Gel de Hidróxido de Ferro, que precipita pelo processo de exsudação em mineral Goethita.
- Uma fonte rica em Ferro (III) é fundamental para a formação da Goethita, no qual, condições alcalinas entre pH 11 à 13,5, e temperaturas entre 30° a 70° favorecem a nucleação e crescimento da Goethita.
- O Gel de Hidróxido Férrico ao permear pelos poros do Arenito propicia a cimentação Goethítica dos grãos. O Gel por não possuir espaço para desenvolver-se totalmente confere ao cimento textura acicular. Ao sair da zona do Arenito o precipitado assume o Padrão 1 e Padrão 2 representados pelos hábitos acicular e radial respectivamente, característicos de feições puras da Goethita.
- A gravidade influencia na disposição dos Coraloídes e inclinação das espículas, onde a localização da precipitação do gel no interior da cavidade influencia na forma final do Coraloide. Uma precipitação advinda do teto tende a formar espículas retas, já uma precipitação advinda da parede da cavidade tende a gerar espículas inclinadas.
- Os espeleotemas tipo Crosta Branca e Amarela constituem microrganismos tais como fungos, bactérias, musgos e líquens e recobrem a superfície de Formações Ferríferas Bandadas da cavidade N4E-29. Estes espeleotemas aparecem devido a incidência da luz solar direta ou indireta que estes microrganismos necessitam para realizar seus processos vitais, de forma que o metabolismo dos mesmos libera ácidos orgânicos que interagem na cristalinidade do precipitado químico, ocorrendo interação entre precipitação química e ação biológica.
- Sobre a superfície dos Coraloídes não ocorre Crostas de microrganismos, pois a cavidade N4E-29 exibe um pequeno apêndice protegido de incidência de luz solar.
- Cavidades que possuem condições eufóticas, ocorre interação do precipitado químico ferruginoso e ação de microrganismos.
- Cavidades que possuem condições afóticas, ocorre a predominância de precipitação química de material ferruginoso e ausência da ação microbiológica na cristalinidade do precipitado.

10 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABREU, S. S. Petrografia de formações ferríferas associadas às cavernas da serra norte, na unidade espeleológica de Carajás –PA. Biblioteca II da UNIFESSPA. CAMAR, Marabá, PA. 2014
- ALMIEDA, F.F.M., HASUI Y., BRITO NEVES B.B. 1976. The Upper Precambrian of South America. Boletim Instituto de Geociências USP, 7:45-80.
- ALMEIDA F.F.M. DE, HASUI Y., NEVES B.B. DE B., FUCK R.A. 1981. Brazilian Structural Provinces: an introduction. Earth-Sciences Reviews. 17:1-29.
- ALMEIDA, F.F.; BRITO NEVES, B.B.; CARNEIRO, C.D.R. 2000. The origin and evolution of the South American Platform. Earth Science Review, 50: 77-111.
- AULER, A.; RUBBIOLI, E. L.; BRANDI, R. As Grandes Cavernas do Brasil. Belo Horizonte: Rona Editora, v. 1, 230 p., 2001.
- AULER A. S. et. al. 2011. Espeleologia N4/N5/Pese/Pesl: Diagnóstico Geoespeleológico, Biológico e Análise de Relevância. Belo Horizonte, CARSTE-VALE, p. 47-119.
- BRITO NEVES, B.B. & CORDANI, U.G. 1991. Tectonic evolution of South America during the Late Proterozoic. Precambrian Res., 53: 23-40 France, 2-3-4:83-100.
- CECAV - CENTRO NACIONAL DE PESQUISA E CONSERVAÇÃO DE CAVERNAS. Regiões Cársticas do Brasil. 2009. Disponível em: <<http://www.icmbio.gov.br/cecav/downloads/mapas/provinciasespeleologicas.html>>. Acesso em: 12 jun. 2012.
- CORDANI, U. G. et al. Evolução Tectônica da Amazônia com base nos dados geocronológicos. In: II CONGRESSO GEOLÓGICO CHILENO. Africa. Chile. Actas, 1979. pp. 48-137.

- CORDANI, U. G.; BRITO NEVES, B. B. The geologic evolution of South America during the Archean and Early Proterozoic. *Revista Brasileira de Geociências*, São Paulo, 1982. v.12, n.11-3, p. 78-88.
- CORDANI, U.G. & SATO, K., 1999. Crustal evolution of the South American Platform, based on Nd isotopic systematics on granitoid rocks. *Episodes*, Vol. 22, no. 3. p. 167-173.
- COSTA, C. E. S. *et. al*, 1991. Geochemical exploration of the Maicuru alkaline-ultramafic-carbonation complex, northern Brazil. *J. Geoch. Expl.* 40: 193-204.
- COSTA, J.B.S. & HASUI, Y. 1997. Evolução geológica da Amazônia. In: COSTA, M.L.C. & ANGÉLICA, R.S. (coords.) *Contribuição à Geologia da Amazônia*. Belém, SBG-NO, p.15-90.
- CVRD/CMM. Distrito Ferrífero da Serra dos Carajás. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 26., 1972, Belém. *Resumos das Comunicações...* Belém: SBG Núcleo Norte, 1972. v. 2, p. 78-80.
- DALL'AGNOL, R. et al. Archean and Paleoproterozoic granitoids of the Carajás metallogenic province, eastern Amazonian craton. In: 1997
- DALL'AGNOL, R., OLIVEIRA, M.A. ALMEIDA, J.A.C., ALTHOFF, F.J. LEITE, A.A.S., OLIVEIRA, D.C., BARROS, C.E.M. 2006. Archean and paleoproterozoic granitoids of the carajás metallogenic province, eastern amazonian cráton. In: SYMPOSIUM ON MAGMATISMO, CRUSTAL EVOLUTION, AND METALLOGENESIS OF THE AMAZONIAN CRATON, Excution Guide, Belém, p. 99-150
- DOCEGEO. 1988. Revisão lito-estratigráfica da Provincial Mineral de Carajás. Congresso Brasileiro de geologia, 35. Anais. Belém, SBG: 10-54. Anexo.

- FEIO, G.R.L., 2011. Magmatismo Granitóide arqueano da área de Canaã dos Carajás: Implicações para a evolução crustal da Província Carajás. Dissertação de Doutorado, Universidade Federal do Pará, Brasil. 205p.
- GOMES, M.G. Aspectos morfológicos e mineralógicos de feições em cavidade hospedadas em formações ferríferas bandadas/lateríticas da região de Carajás-PA Biblioteca II da UNIFESSPA. CAMAR, Marabá, PA. 2014.
- HASUI, Y.; HARALY, N.L.E.; SCHOBENHAUS, C. 1984. Elementos geofísicos e geológicos da região amazônica: subsídios para o modelo geotectônico. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DA AMAZÔNIA, 2, Manaus. Anais, SBG-NO, p.129-148.
- HILL, C.; FORTI, P. Cave Minerals of the World. Second Edition. National Speleological Society Inc. Huntsville, Alabama 35810, U.S.A. 1997
- JANSEN, D.C. Mapa Brasileiro de Potencialidade de Ocorrência de Cavernas. Encontro Nacional da Associação de Pós-Graduação e Pesquisa em Geografia, 9. Universidade Federal de Goiás, Goiânia. 8 a 12 de outubro de 2009, 6p. Disponível em:<<http://www.icmbio.gov.br/cecav/downloads/mapas/potencialidade-de-ocorrencia-de-cavernas.html>>. Acesso em: 12 jun. 2012.
- KRYMSKY, R.S.; MACAMBIRA, J.B.; MACAMBIRA, M.J.B. Geocronologia U-Pb em zircão de rochas vulcânicas da Formação Carajás, Estado do Pará. In: SIMPÓSIO DE VULCANISMO E AMBIENTES ASSOCIADOS, 2. 2002. Belém. Resumos... Belém: PRONEX/SBG, 2002. p. 41.
- MACAMBIRA, J.B., RAMOS, J.F.F., ASSIS, J.F.P. & FIGUEIRAS, A.J.M. - 1990 - Projetos Serra Norte e Pojuca, Relatório final. Convênio DNPM/DOCEGEO/UFGA, Belém.

- MACAMBIRA, M.J.B., LANCELOT, J. 1996. Time constraints for the formation of the Archean Rio Maria crust, southeastern Amazonian Craton, Brazil. *International Geology Review* 38, 1134-1142.
- MACAMBIRA J.B. 2003. O ambiente deposicional da Formação Carajás e uma proposta de modelo evolutivo para a Bacia Grão Pará. 217 f. Teses (Doutorado) - Instituto de Geociências, Universidade Estadual de Campinas.
- MACHADO, N., LINDENMAYER, Z.G., KROGH, T.E., LINDENMAYER, D. 1991. U-Pb geochronology of Archean magmatism and basement reactivation in the Carajás area, Amazon shield, Brazil. *Precambrian Research* 49, 329-354.
- MAURITY, C. W.; KOTSCHOUBEY, B. 1995. Evolução recente da cobertura de alteração no Platô N1 – Serra dos Carajás-PA. Degradação, pseudocarstificação, espeleotemas. *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi. Série Ciência da Terra* 7: 331-362.
- MAURITY, C.W.; KOTSCHOUBEY, B. 2005. Evolução recente da cobertura de alteração no Platô N1- Serra dos Carajás-PA. Degradação, pseudocarstificação, espeleotemas. *O Carste* 17(3): 78-91.
- MONTES-HERNANDEZ, G.; BECK, P.; RENARD, F.; QUIRICO, E.; LANSON, B.; CHIRIAC, R.; FINDLIN, N. Fast Precipitation of Acicular Goethite from Ferric Hydroxide Gel under Moderate Temperature (30 and 70°C). *CRISTAL GROWTH & DESIGN*. 2011
- PERRY, J. H. The adsorption of vapors by ferric hydroxide gel. *Industrial and Engineering Chemistry* (1927), 19, 746-8 CODEN: IECHAD; ISSN: 0019-7866.
- PILÓ, L.B.; AULER, A.S. Cavernas em minério de ferro e Canga de Capão Xavier, Quadrilátero Ferrífero, MG. *O carste* v.17, n.3, 228p. Belo Horizonte, 2005.

- PILÓ, L.B.; AULER, A.S. Geoespeleologia Das Cavernas Em Rochas Ferríferas Da Região de Carajás, PA. ANAIS do XXX Congresso Brasileiro de Espeleologia. Minas Gerais, 2009.
- PINHEIRO, R.V.L.; HOLDSWORTH, R.E. Evolução tectonoestratigráfica dos Sistemas Transcorrentes Carajás e Cinzento, Cinturão Itacaiúnas, na borda leste do Cráton Amazônico, Pará. Revista Brasileira de Geociências, v. 30, n. 4, p. 597-606, 2000.
- ROSA, R.R. Fácies, Estratigrafia e Petrografia da cavidade N4WS-15 na Unidade Espeleológica de Carajás-PA, Serra Norte. Biblioteca II da UNIFESSPA. CAMAR, Marabá, PA. 2014
- SANTOS, J.O.S.; HARTMANN, L.A.; GAUDETTE, H.E.; GROVES, D.I.; McNAUGHTON, N.J.; FLETCHER, I.R. 2000. A new understanding of the provinces of the Amazon Craton based on integration of field mapping and U-Pb and Sm-Nd geochronology. Gondwana Res., 3(4): 453-488.
- SANTOS, J.O.S. 2003. Geotectônica do Escudo das Guianas e Brasil-Central. In: BIZZI, L.A.; SCHOBENHAUS, C.; VIDOTTI, R.M.; GONÇALVES, J.H. (eds.) Geologia, Tectônica e Recursos Minerais do Brasil. Brasília, CPRM, p. 169-226.
- SANTOS, J. O. S.; HARTMANN, L. A.; FARIA, M. S.; RIKER, S. R.; SOUZA, M. M.; ALMEIDA, M. E.; MCNAUGHTON, N. J. A compartimentação do cráton amazonas em províncias: avanços ocorridos no período 2000–2006. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DA AMAZÔNIA, 9., Belém. Anais... Belém: 2006.
- SCHOBENHAUS, C. & BRITO NEVES, B.B. 2003. A geologia do Brasil no contexto da Plataforma Sul-Americana. In: BIZZI, L.L.; SCHOBENHAUS, C.; VIDOTT, R.M.; GONÇALVES, J.H. (eds.) Geologia, tectônica e Recursos Minerais do Brasil. Brasília CPRM. 674 p.
- TASSINARI, C.C.G. & MACAMBIRA, M.J.B. 1999. Geochronological provinces of the Amazonian Craton. Episodes, 22(3): 174-182.

- TASSINARI, C.C.G. & MACAMBIRA, M.J.B. 2004. A evolução tectônica do Cráton Amazônico. In: MANTESSO-NETO, V.; BARTORELLI, A.; CARNEIRO, C.D.R.; BRITO NEVES, B.B. (eds.) Geologia do Continente Sul-Americano: Evolução da Obra de Fernando Flávio Marques de Almeida. São Paulo, p. 471-485.
- TEIXEIRA, W.; TASSINARI, C.C.G.; CORDANI, U.G.; KAWASHITA, K. 1989. A review of the geochronology of the Amazonian Craton: Tectonic implications. *Precambrian Res.*, 42: 213-227.
- TOLBERT, G.E., TREMAINE, J.W., MELCHER, G.C., GOMES, C.B. The recently discovered Serra dos Carajás iron deposits, Northern Brazil. *Econ. Geol.*, v.66, p.985-99. 1971.
- TORTELLI, D.M. Modelagem e Renderização da Gênese e Crescimento de Espeleotemas em Tempo-Real. Universidade Federal de Pernambuco Centro de Informática. Dissertação de Mestrado. 2009.
- TRENDALL, A.F. ET AL. SHRIMP zircon U-Pb constraints on the age of the Carajás formation, Grão Pará Group, Amazon Craton. *Journal of South American Earth Sciences*, v. 11, n. 3, p. 265-277, 1998.
- WIRTH, K.R., GIBBS, A.K., OLSZEWSKI JR., W.J. U-Pb zircon ages of the Grão Pará group and Serra dos Carajás granite, Para, Brazil. *Revista Brasileira Geociências* 16(2), 195-200. 1986.